昭和 40 年 6 月 3 日　第三種郵便物認可　平成 9 年 12 月 10 日発行（毎月 1 回 10 日発行）富士時報　第 70 巻　第 12 号（通巻第 753 号）

ISSN 0367-3332

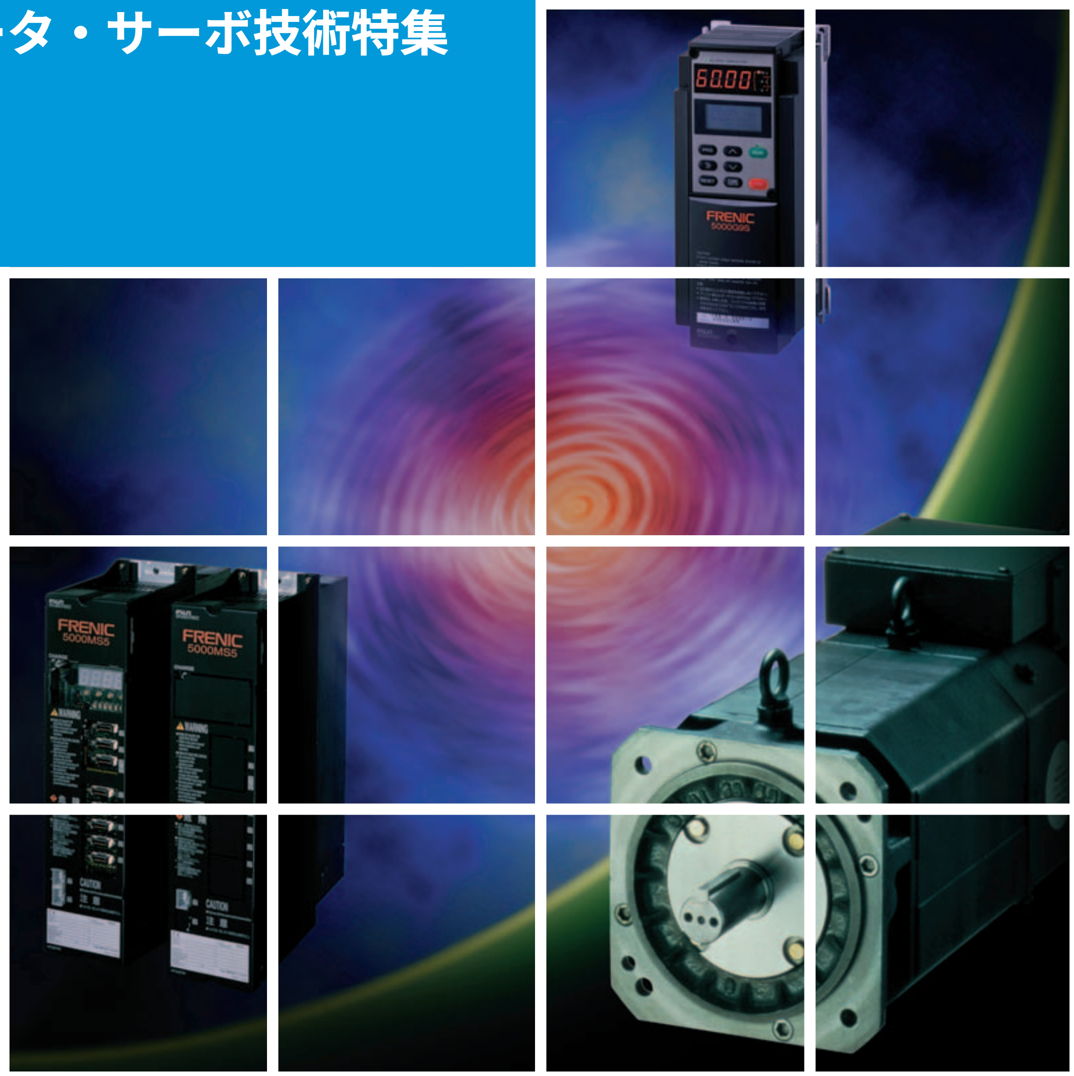
富士時報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

12

1997 VOL.70

インバータ・サーボ技術特集



FUJI ELECTRIC

聞こえてきますか、技術の鼓動。—— 富士電機

インバータ繁盛記。

FUJI ELECTRIC

いろんなシゴトに，もう富士電機のインバータが欠かせません。

業務用洗濯機に

洗濯物の量が多くても，回転し始めからパワフル運転。
いつも，きれいに洗い上げます。

立体駐車場に

パワフルインバータのおかげで，立ち上がりからスムーズ。
モータ特性を自動検出して運転するオートチューニング機能も魅力です。

研究設備に

遠心分離器などの研究実験用装置で，的確なコントロールに役立っています。

物流コンベヤに

重い荷物も，次々とスムーズでなめらかな流れ。
作業効率がグンとアップします。

ミニコンベヤに

荷揚げの多少にかかわらず，運転がスムーズ。
静かで操作も簡単な，ちびっこインバータが大活躍です。

印刷の輪転機に

印刷し始めから終わりまで，つねに安定して高速運転。
濃度ムラなどを防ぎ，印刷の美しさを保ちます。

回転寿司の回転台に

きれいに握られたお寿司をのせ，お客様の前を静かに回転。
小さくて，簡単操作のインバータが，ここでも活躍しています。

UL　cUL　TÜV Rheinland BAUART GEPRÜFT TYPE APPROVED　CE

FVR-E9Sシリーズ　FRENIC5000P9Sシリーズ　FVR-C9Sシリーズ　FRENIC5000G9Sシリーズ

国際規格に標準品で対応（FRENIC5000G9S/P9Sシリーズ、FVR-E9Sシリーズ）※。ワールドワイドに活躍します。

●ヨーロッパのEN規格，米国・カナダのUL規格，cUL規格に標準品で対応※。
●業務用洗濯機や立体駐車場などには，トルクベクトル制御により低速から高速まで安全運転を実現したFRENIC5000G9Sシリーズを。
●空調設備やファン，ポンプなどには，自動省エネ機能を搭載し，可変速運転に最適なFRENIC5000P9Sシリーズがうってつけです。
●食品機械や木工機械などには，優れた耐環境性を発揮する，コンパクトでパワフルなFVR-E9Sシリーズを。防水形（IP65）も用意。
●ミニコンベヤや換気ファンなど，サイズやコストの点でインバータをためらっていた用途には，小さくて簡単操作のFVR-C9Sをどうぞ。

※一部受注生産対応となります。

富士インバータ

お問合せ先：機器事業本部　駆動制御事業部　電話（0593）83－8192

富士時報
FUJI ELECTRIC JOURNAL

12
1997 VOL.70

インバータ・サーボ技術特集

目　次

汎用インバータの発展に想う 中野　孝良	614（2）
インバータ・サーボ技術の現状と展望 柳瀬　孝雄　・　川畑志農夫　・　栗田　茂文	615（3）
新しい電力変換回路技術 藤田　光悦　・　大熊　康浩　・　伊東　淳一	619（7）
電力変換器の低ノイズ化技術 石井　新一　・　五十嵐征輝　・　豊崎　次郎	623（11）
新しい可変速制御技術 藍原　隆司　・　海田　英俊　・　田島　宏一	627（15）
汎用インバータの小形化技術 市原　孝男　・　岡本　健次　・　塩 川　治	630（18）
大容量電力変換器 吉田　雅和　・　望月　昌人　・　金沢　直樹	634（22）
工作機械主軸駆動装置 FRENIC5000MS5 田中　良和　・　林　寛 明　・　高 橋　弘	638（26）
新形サーボシステム FALDIC-II 新 美　務　・　篠田　誠司　・　遠 藤　実	642（30）
電子カムモジュール 相田　忠勝　・　斉 藤　豊　・　丸林　雅美	646（34）
インバータ・サーボシステムの適用例 島田　喜秋　・　井田　貴士	650（38）
インバータ・サーボアンプ・回転機のCEマーキングへの対応 森口　千秋　・　西山　誠治　・　﨑山　貴史	654（42）
可変速駆動システムの高調波抑制手法 大阿久康之	658（46）
技術論文社外公表一覧	641（29），657（45）
最近登録になった富士出願	662（50），663（51）
富士時報　VOL.70 1997（平成９年）総目次	（巻末４ページ）

表紙写真

汎用インバータやサーボシステムなどの可変速駆動装置は，多くの産業分野の機械設備に適用されて，これらの自動化，省力化，高性能化に大きく貢献している。

富士電機は，1977年に業界に先がけて汎用インバータを発売し，以来，全ディジタル化・小形化・高性能化・多機能化において常に業界をリードしてきた。さらに，サーボシステムのラインアップにより総合的な製品体系を確立している。

表紙写真は，工作機械主軸駆動用の電動機と広く国際規格に適合した汎用インバータを配し，素早い加減速性能と滑らかな回転性能をイメージ的に表現したものである。

汎用インバータの発展に想う

中野　孝良（なかの　たかよし）
芝浦工業大学工学部教授 工学博士

職業柄学年末になると研究室の学生とスキー合宿に出掛ける。夕食後の団欒でアルコールが入るとスキーでの自慢話，失敗談となる。私がスキーを始めた頃は物資が不足していた時代で，スキー板は従兄弟からの払い下げ，スキー靴は「東京・四谷の靴店に注文した」という話をした。ところが「スキー靴をオーダーメイドですか」といささか呆れた様子で聞き返された。確かに昨今のスキー靴は競技用など一部を除いてレディーメイドというのが常識であろう。そのデザイン・寸法などの豊富さや装着感の良さはオールドスキーヤーにとって目を見張るばかりである。昨今の学生がオーダーメイドのスキー靴に呆れるのも無理はない。

モータドライブ用可変電圧可変周波数インバータ（VVVF インバータ）がそれまで全てオーダーメイドであった1980 年頃，レディーメイドの標準系列製品である VVVF インバータがいわゆる汎用インバータとして世に登場した。汎用インバータとして発売開始されたものの，低価格ではあったが，機能・性能で満たされない部分が多く，用途範囲は限定されていた。そこで交流モータで比較的単純な可変速運転が出来ればよい，例えばファン，ポンプの省エネルギードライブ用など，使えるところから使われ始めたというのが正直なところであろう。

ところが今日 VVVF インバータは，1,000 kW 級を超す大容量インバータ，鉄鋼圧延機駆動・電気車駆動など高度な機能・性能が要求されるインバータやエアコン用に代表される量産インバータなどを除くと，汎用インバータが大多数である。「汎用」とはいわず唯 VVVF インバータといっても標準系列製品の VVVF インバータを指すことは今やレディーメイドのスキー靴と同様「常識」の範囲といってもよかろう。それだけ機能・性能とも大多数の用途に適合出来るよう高度化・多様化されたうえ，小形・軽量化とコスト低減の結果，用途範囲が広がっているのであろう。

オーダーメイドでの物や情報の流れはメーカーと顧客との１対１の直接的で閉ざされた関係である。ところがレディーメイドのマーケットでのそれはメーカーから不特定多数顧客への一方通行の関係となりがちで，それでいいわけがない。それを避けるには顧客に開かれたメーカーでなければならないし，より良い技術・製品を提供してゆく努力を怠ってはならない。ここまで成長した汎用インバータはもはや「使えるところから使ってもらう」ことではすまない。多少具体的に期待される汎用インバータの将来像を考えてみたい。

まず第一は取扱い・操作が簡単なことである。インバータはそれぞれの負荷に見合った最適の電力を供給するのが目的であるから，負荷毎に違った使い方がされ，違った調整がされて当然である。いまや多様な機能を持ち，通信回線を通して多くのオンライン情報が取り込まれるようになったインバータの使い方・調整は本質的には難しい。その解決には自律的なチューニング能力などインテリジェント化が欠かせない。現在はモータ定数を自動測定して調整を最適化するオフラインオートチューニングが実用化され始めてはいるが，理想には遠い。理想は，例えば電線のつなぎ込みさえすればよい配線ブレーカの如き部品化あるいはモータとの一体化であろう。こうなると「インバータ」の名称さえも不要になるかもしれない。

第二はいつでも，どこでも安心して使えることである。インバータの取扱い・操作が簡単になっても，一方では益々その内容が複雑になれば，一層の技術情報の開示が求められる。現在インバータの関連規格はあるものの，カタログ・取扱い説明書にはメーカー間で不統一な用語や定義が使われていたり，技術データが公表されていない事項が多々ある。例えば低速運転限界の定義やその測定方法，高調波による電力損失のデータなどユーザーにしてみれば知っていれば避けて通れた使用上のトラブルもあろう。

マーケットが拡大されるに従い，千差万別，ときに想像だにしていない環境下での利用や使い方がされる。昨今環境との整合性が重要視され，高調波・電磁障害に対する一部規制あるいはリサイクルの義務づけが我が国・ EC で実施され始めている。今後はある程度の経済性を犠牲にしてでも取り組まねばならぬ課題である。

本特集号で取り上げられるインバータ・サーボが期待する将来像に着実に近づくことを願ってやまない。

富士時報　Vol.70 No.12 1997

インバータ・サーボ技術の現状と展望

柳瀬　孝雄（やなせ　たかお）　川畑 志農夫（かわばた　しのぶ）　栗田　茂文（くりた　しげふみ）

1　まえがき

汎用インバータやサーボシステムに代表される可変速駆動装置は，多くの産業分野に適用されて，機械や設備の省エネルギー，自動化・省力化，高性能化に大きく貢献している。インバータ，サーボの両部門とも，パワートランジスタの適用が開始されてから経済性が向上し，オイルショックなどによる省エネルギー思想の普及とともに，飛躍的な発展を遂げて今日に至っている。

ここでは，これらの発展の原動力となった要素技術，今後の発展のための最新技術の概要と富士電機の取組みなどを述べるとともに，富士電機の豊富な製品系列を紹介する。

2　インバータ・サーボシステムにおける最新技術

2.1　電力変換回路技術

汎用インバータに代表される可変速駆動装置は，IGBT（絶縁ゲート形バイポーラトランジスタ）などの低損失パワーデバイス技術，高効率の冷却技術，金属基板を採用した高集積化技術などにより，小形化や高効率化が実現されてきている。今後ともこれらの追究は進められて発展していくであろう。

一方，これらの駆動装置を主回路方式の観点でとらえると，その大多数が**図1**に示すように，ダイオード整流回路部とPWMインバータ回路部で構成されている。これは普及の初期から採用されている実績があり，経済性を含めて技術的に確立した観があるが，制動動作時における回生エネルギーを処理する発電制動回路が必要であることと，入力電源に対して高調波電流を発生させることが問題となっている。高調波電流を低減する方法としては，**図1**に示す直流リアクトルや交流リアクトルを接続する方法が一般的に採用されている。

また，制動動作時における回生エネルギーを高効率で電源に回生したり，入力高調波電流を大幅に低減する手法として，**図2**のようなPWM制御方式のコンバータも採用されるようになってきたが，電源側に交流リアクトルが必要なほかに，電源の条件によってはさらにLCフィルタが必要であるため，回路方式の簡略化や低コスト化が要求されている。

富士電機では，これらの要求にこたえるための新しい主回路方式として，AC-AC直接変換方式の研究や，電動機の巻線と変換回路を一体化したシステムとしてとらえて，追加のリアクトルを必要とせずに入力高調波電流を大幅に低減する方式を提案し，将来に備えた研究を行っている（本特集号の別稿「新しい電力変換回路技術」を参照いただきたい）。

図1　標準的な汎用インバータの主回路接続図

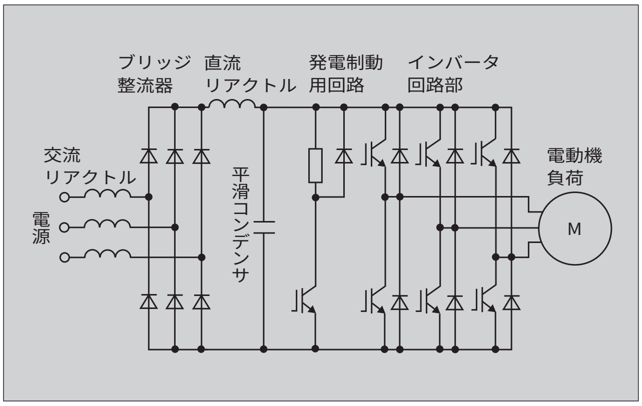
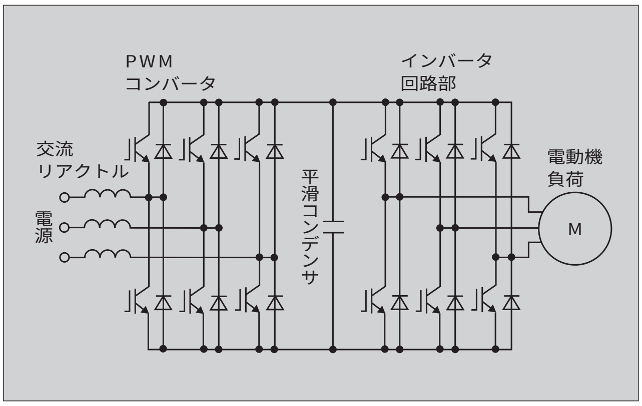


図2　PWMコンバータを備えたインバータ



柳瀬　孝雄

汎用インバータ，ACサーボの開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス研究所駆動システム開発グループ開発マネージャー。

川畑 志農夫

汎用インバータの開発から応用までの技術取りまとめ業務に従事。現在，機器事業本部駆動制御事業部業務部主席。

栗田　茂文

サーボシステム機器の開発，企画ならびにエンジニアリング業務に従事。現在，機器事業本部駆動制御事業部業務部主席。

2.2　低ノイズ化技術

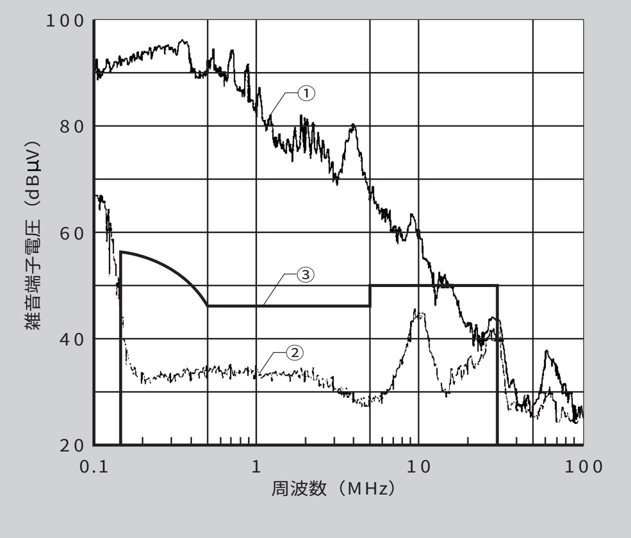
インバータやサーボシステムなどの電子機器では，IGBTなどを使用して高速のスイッチングを行うことによって，高効率の電力変換を行っているが，その高速スイッチングが原因となって，高周波のノイズを発生するという問題がある。

これらのノイズについては，世界中の国や地域でIEC（国際電気標準会議）の勧告を基にした規制が行われるようになってきた。

図3は，インバータで測定したノイズ（雑音端子電圧）と規制値の一例である。ノイズフィルタを使用しない場合と使用した場合のデータのほかに，CISPR class Bと記載した曲線は，住宅・商業環境の電源に接続する場合の規制値（勧告値）である。インバータやサーボシステムでこれらの規制を満足させるために，現在は電源側にフィルタを接続するとともに，電動機までの主回路にシールド配線を適用する方法がとられている。

富士電機では，これらのノイズの発生メカニズムや伝達経路の解明をはじめとして，ノイズ抑制のためのIGBT素子のソフトスイッチング化技術や，制御電源用のDC-DCコンバータの低ノイズ化技術の研究などに積極的に取り組んでいる（本特集号の別稿「電力変換器の低ノイズ化技術」を参照いただきたい）。

図3　EMC規格規制の一例（雑音端子電圧）



2.3　制御技術

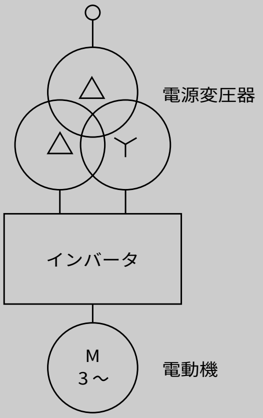
マイクロプロセッサやゲートアレーなどのLSI技術の発展，電動機の制御手法の技術開発などにより，インバータ，サーボシステムの制御技術は年々進歩を遂げている。

センサレスベクトル制御やトルクベクトル制御などの電動機のトルク制御性能を向上させる技術のほかに，電動機の制御定数のチューニングや機械系とのマッチングを含めた適応制御など，適用上の性能向上の技術開発などが行われている。今後はさらに使いやすさを向上させる技術や，汎用インバータと汎用電動機を使って高性能ベクトル制御を行う技術の開発などが行われるであろう。

また，*V*/*f*（電圧/周波数）制御方式のインバータにおいて低速度での滑らかな回転を得るために，出力電圧のひずみやオフセットを少なくする制御方式が，これまで多数考案されている。これらの技術の一つとして富士電機では，LSIを用いた専用のディジタルAVR制御技術を開発して，滑らかな回転性能を実現している。

さらに，これまでの汎用インバータによる可変速駆動は誘導電動機を主体に行われてきたが，運転効率の向上をめざして永久磁石形の同期電動機（PMモータ）を駆動する流れも出始めている。しかし，従来からサーボシステムで行われているように，一般にPMモータの駆動では磁極位置や速度センサが使用されている。富士電機では，本特集号の別稿「新しい可変速制御技術」で紹介するように，磁極位置や速度のセンサを必要としないPMモータの駆動方式の研究も行っている。

図4　大容量変換器の12パルス接続



2.4　大容量変換器の高調波電流低減技術

一般的な変換器の高調波電流低減技術については，**2.1**節で説明したとおりであるが，変圧器を同時手配するクラスの大容量機種では，**図4**に示すような12パルス接続の方式が最も経済的な高調波電流の低減対策である。

富士電機では，大容量変換器の入力側整流器を二分割して6本の入力端子を出し，12パルス接続への対応を可能とした系列を用意している（詳細は，本特集号の別稿「大容量電力変換器」を参照いただきたい）。

3　富士電機の可変速駆動装置の系列

富士電機では，簡単な可変速駆動を行うインバータから，高精度・高速応答の制御を行うサーボシステムに至るまで

豊富な製品系列を用意しているので，あらゆる可変速駆動の用途に対して最も経済的な選択が可能である。

以下に，その製品系列の概要を紹介する。

3.1　インバータの製品系列

表１に富士電機製インバータの代表機種系列を示す。

汎用インバータは，富士電機独自のトルクベクトル制御を備えた高性能で多機能の FRENIC 5000G9S シリーズが基本で，小容量から大容量までの全容量範囲をカバーしている。また，姉妹機種として，ファンやポンプ負荷に対して経済的な FRENIC 5000P9S シリーズを用意している。

さらに，小容量範囲では多くのシリーズを用意して，多様なニーズに対してコストパフォーマンスの選択の幅を大きくしているという特長がある。FVR-E9S シリーズは，FRENIC 5000G9S シリーズと同様にトルクベクトル制御を備えているので，高速応答の制御が可能であり，高頻度の加減速運転を行う用途に適している。FVR-C9S シリーズは超小形化を実現し，簡単な可変速用途に対して優れた経済性を提供するものである。

汎用ベクトル制御インバータは，汎用インバータと同じ感覚で使用できる高性能ベクトル制御を備えた機種で，エレベータや立体駐車場などの用途に広く使用されている。また，駆動する電動機がパルスエンコーダを備えていない場合は，センサレスベクトル制御への機能切換も可能である。

工作機械主軸駆動用の機種は本特集号の別稿「工作機械主軸駆動装置 FRENIC 5000MS5」で詳細を説明しているように，構造と性能の両面で大幅な改良を行った新系列である。制御性能的に，主として NC 旋盤に使用される FRENIC 5000M5 シリーズと，マシニングセンタなどに使用される FRENIC 5000V5 シリーズの 2 系列であるが，コンバータ部とインバータ部を分割した構造とすることにより，両方の機種に対して高効率の電源回生コンバータと，経済的な発電制動方式のコンバータの自由な組合せ選択を可能としているという特長がある。

電源回生方式の PWM コンバータは，インバータの直流主回路端子に接続し，高効率の電源回生と入力電流を正弦波電流に制御するものである。一般に回生制動の頻度が高い昇降機負荷に適用されているほかに，これを使用した場合は入力高調波電流が大幅に低減し，わが国の「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」では「6 パルス換算係数＝ 0」として扱うことができるので，急速に需要が拡大している。

3.2　サーボシステムの製品系列

サーボシステムにおいても，工作機械，ロボットなどの専用用途から，搬送機械，包装機械あるいは半導体製造・加工機械などの一般産業機械の自動化用途へ急速に適用が拡大している。これらの状況に対応するため，富士電機では新形「FALDIC-Ⅱシリーズ」を系列化し，多様化する市場の要求にこたえることができた。

表２に富士電機製サーボシステムの代表機種系列を示す。小容量領域を対象としてアンプの大幅な小形化を図り，これに適用される電動機の機種バリエーションを充実させた「FALDIC-Ⅱシリーズ」，中大容量範囲をカバーする「FALDIC-IM シリーズ」，取扱いが簡単で低価格のシステムが構築できる富士電機独自の「ディジタル ES モータ」など，機種系列の充実を図ってきた。一方，位置決め制御

表１　富士電機製インバータの代表機種系列一覧

機種区分	シリーズ	電源電圧	容量系列（kW） 0.1　1　10　100　1,000	周波数制御範囲（Hz） 100　1,000　10,000	主な特徴
汎用インバータ	FVR-C9S	単相 100 V 三相 200 V	0.1　0.4 0.1　3.7	120 120	超小形，単純可変速駆動用
	FVR-E9S	単相 100 V 単相 200 V 三相 200 V 三相 400 V	0.1　0.75 0.1　2.2 0.1　3.7 0.4　3.7	400 400 400 400	高性能・汎用インバータ ○標準構造で IP40 ○IP65 の保護構造対応が可能
	FRENIC 5000G9S	三相 200 V 三相 400 V	0.2　90 0.4　400	400 400	高性能・多機能インバータ ○標準構造で IP40（22 kW以下） ○IP56 の保護構造対応が可能（22 kW以下）
	FRENIC 5000P9S	三相 200 V 三相 400 V	5.5　110 5.5　500	120 120	二乗低減トルク負荷専用 ○ファン，ポンプ負荷に最適な自動省エネル ○ギー運転モードあり（出荷時の標準設定で対応）
	FRENIC 5000H2	三相 200 V	0.75　22	5,000	超高速電動機の駆動用
汎用ベクトル制御インバータ	FRENIC 5000VG5	三相 200 V 三相 400 V	0.75　90 3.7　400	120 120	一般産業用高性能ベクトル制御インバータ ○高速応答の速度制御用途に適用 ○外部アナログ信号でトルク制御が可能
工作機械主軸駆動用インバータ	FRENIC 5000M5 FRENIC 5000V5	三相 200 V 三相 400 V	0.75　22 1.5　45	270 270	工作機械主軸駆動用インバータ ○M5（PGなしトルクベクトル制御） ○V5（PG付きベクトル制御） ○コンバータは，発電制動と電源回生制動の ○選択が可能
電源回生用PWMコンバータ	RHC	三相 200 V 三相 400 V	7.5　55 7.5　400	50　60 50　60	電源回生用コンバータ ○高効率で電源回生 ○入力高調波電流の低減

表２　富士電機製サーボシステムの代表機種系列一覧

シリーズ名称	適用電動機	容量系列（kW） 0.1　1　10	最高回転速度（r/min） 2,000　3,000　4,000	主な特長
FALDIC–II ① Lタイプ （直線位置決め用）	GRS（低慣性）モータ	0.05　0.8	4,500	① FALDICシリーズと比べ体積約1/2に低減 ② 低慣性，中慣性および高慣性タイプのなかから任意に選択可能 ③ 用途別の機種系列（L，R，Vタイプ）を用意 ④ 上位コントローラとの通信機能強化（Tリンク，パソコンインタフェースなど） ⑤ 100ステップの位置データが登録可能
② Rタイプ （回転割出し用）	GRH（中慣性）モータ	0.3　2.7	3,000	
③ Vタイプ （速度制御用）	GRK（高慣性）モータ	0.05　3.7	2,500	
FALDIC–IM	MPFシリーズ電動機 （専用誘導電動機）	2.2　37	2,000	① 大形機械の位置決め用途狙い ② 100ステップの位置データが登録可能 ③ 上位コントローラとの通信強化
ディジタルES モータ （速度制御用）	GRS（低慣性）モータ	0.05　0.8	4,500	① 対話形ローダによる簡単操作 ② アナログ指令入力に加え，パルス指令入力を備え，位置制御にも対応 ③ 電動機は汎用電動機と取付け互換
	GRK（高慣性）モータ	0.05　3.7	2,500	

〈注〉掲記以外の各種位置決めモジュール（多軸コントローラ，電子カムコントローラなど）はここでは割愛する。

への要求も高度化・複雑化の傾向にあり，プログラマブルコントローラ（PLC）に各種位置決め制御の機能を一体化することにより，ユニットの小形化，機能の多様化ができ，フレキシブルな対応が可能となった。従来から好評であった電子カムコントローラは，PLC のモジュールとして再系列化し，小形化と取扱いの容易化を図っている。

4　あとがき

省エネルギー運転や，自動化・省力化を目的とした用途をはじめとする可変速駆動の需要はますます増大し，高度化・多様化したシステムに組み込まれるケースが増えてきている。

これまでの開発は，高性能化や多機能化に重点が置かれた印象が強いが，これからの駆動装置については「人に優しい」「環境に優しい」「高信頼性」などが重要な要素として位置づけられる傾向にある。

人に優しいという観点では，設備立上げ時の設定操作や，機械系との制御定数のマッチング作業を，簡略化・自動化することなどの充実が課題である。

環境に優しいという観点では，梱包（こんぽう）や部品に使用される材料問題のほかに，電気的なノイズや高調波電流を低コストで低減する技術の開発が，引き続き重要な課題である。

高信頼性という観点では，保護機能の充実や部品ひとつひとつの長寿命化設計が基本であるが，寿命については経済性とのバランス問題があるので，設備停止をする前に寿命の予告を行う機能などが望まれている。

今後とも絶え間なくこれらの課題に取り組んで，より充実した可変速駆動装置を提供していく所存である。一層の充実を図るために，実際に使用いただいた立場でのご意見や，これから使用を計画されている立場でのご意見などをお寄せていただきたくお願いする次第である。

新しい電力変換回路技術

藤田　光悦（ふじた　こうえつ）　　大熊　康浩（おおくま　やすひろ）　　伊東　淳一（いとう　じゅんいち）

1　まえがき

汎用インバータに代表される可変速駆動装置は，高性能化，小形軽量化，そして低価格化が日進月歩のごとく進んでいる。これは，パワーデバイス，制御方式とそれを実現する制御デバイス，さらには冷却や実装技術といったさまざまな技術の向上によって成し遂げられているが，インバータ部の主回路に関しては発売以来，大きな変革なしに現在に至っている。

一方，特に電源高調波の問題を解決するために，従来のダイオード整流回路に力率改善リアクトルを付加することや，高力率コンバータの採用が要求されており，可変速駆動装置全体としての主回路はますます複雑化する傾向にある。

富士電機では，将来の可変速駆動装置の新しい主回路をめざした技術開発を行っており，本稿では，新しい電力変換回路やそのための解析技術を紹介する。

2　直接変換回路の解析法とその適用例

2.1　直接変換回路の特徴

三相－三相直接変換回路適用の狙いは次のとおりである。

(1)　入力電源電流の高力率化

(2)　主回路の通過素子数低減による定常損失の減少

(3)　直流中間部の部品不要による小形軽量化

図1は，直接変換回路の代表的回路であるマトリックスコンバータ[(1)]の基本構成を示す回路である。この回路は，双方向性スイッチを1相あたり3個，計9個使用している。直接変換回路では，入力電源電圧波形を直接裁断し出力電圧波形として利用する。したがって，三相の出力端子において，他の相とは独立に入力側端子を選択可能なので，マトリックスコンバータは，入力電源電流制御と出力電圧制御に関し，三相－三相直接変換回路の最大の自由度を有している。

2.2　直接変換回路の解析法

図1に示す回路のマトリックスコンバータは，双方向性スイッチを必要とするため，各種変形回路が考案されている。また，マトリックスコンバータの機能を制限することによって使用素子数を低減する回路も提案されている。このため，提案される各種直接変換回路に対し，その回路の有する制御性能を同一の定義によって比較することは困難であり，統一的な解析法は十分に整備されていない。そこで，富士電機では，直接変換回路の研究を進めるにあたり，各種回路の制御性能を評価するための解析法[(2)]を確立した。

この解析法では，**図2**のように，直接変換回路の入力線間電圧と出力線間電圧の関係を，スイッチマトリックス $S(n, m)$ を用いて定義する。三相－三相変換の場合は，S は式(1)のように3行3列の行列となる。

図1　マトリックスコンバータの回路

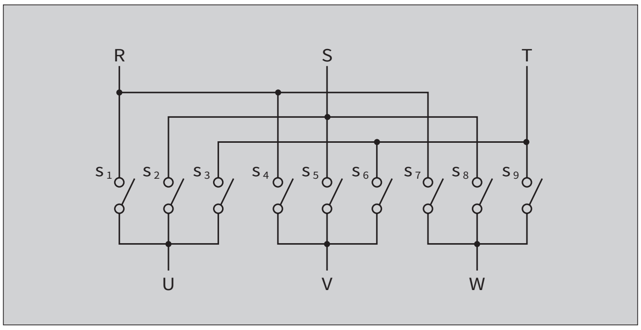
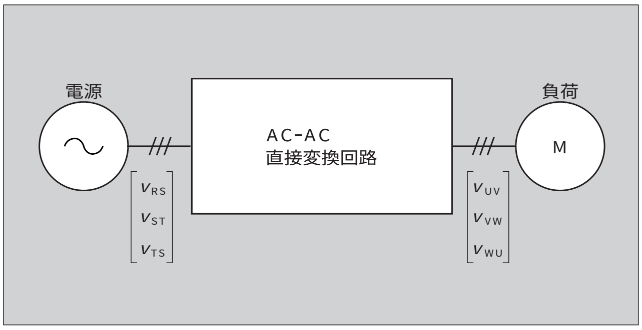


図2　直接変換回路のシステム構成



藤田　光悦

交流可変速駆動用電力変換装置ならびに制御装置の研究・開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所主任技師。

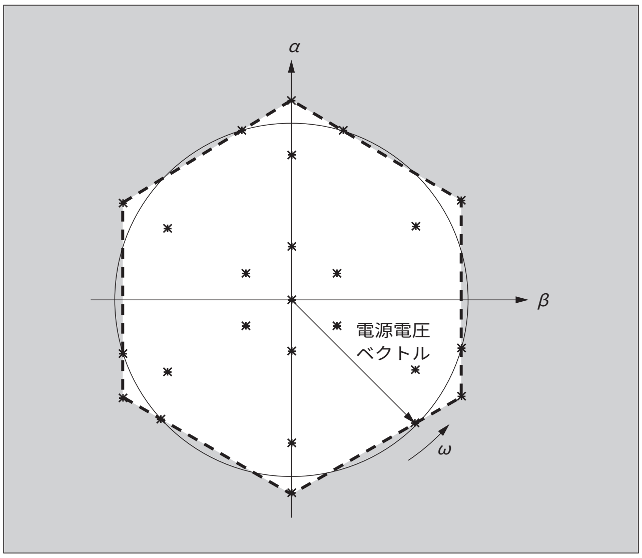
大熊　康浩

AC-AC直接変換技術を応用した電力変換装置の開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所コンポーネント開発グループ副主任技師。

伊東　淳一

交流可変速駆動用電力変換装置ならびに制御装置の研究・開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所。

図３　マトリックスコンバータの瞬時空間ベクトル



$$\begin{bmatrix} v_{uv} \\ v_{vw} \\ v_{wu} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S \\ 3\times3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{RS} \\ v_{ST} \\ v_{TS} \end{bmatrix} \cdots\cdots (1)$$

S の各要素は各スイッチのスイッチング関数により表記され，スイッチング関数は入力の線間電圧と出力の線間電圧によって決まる全電流経路上のスイッチから定義する。

続いて，出力電圧を瞬時空間電圧ベクトルを用いて表現することにより，直接変換回路の入力電源電圧と出力電圧との関係が明確となる。式(2)は出力電圧の瞬時空間ベクトルの演算を示している。

$$v = \begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S \\ 3\times3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{RS} \\ v_{ST} \\ v_{TS} \end{bmatrix} \cdots\cdots (2)$$

式(3)は，**図１**に示したマトリックスコンバータのスイッチマトリックスを示しており，**図３**はある電源電圧位相における出力電圧の瞬時空間ベクトルを示している。

$$S = \begin{bmatrix} S_1S_5 - S_2S_4 & S_2S_6 - S_3S_5 & S_3S_4 - S_1S_6 \\ S_4S_8 - S_5S_7 & S_5S_9 - S_6S_8 & S_6S_7 - S_4S_9 \\ S_2S_7 - S_1S_8 & S_3S_8 - S_2S_9 & S_1S_9 - S_3S_7 \end{bmatrix} \cdots\cdots (3)$$

出力１相あたり３とおりのスイッチの選択が可能なので，星印で示す 27 とおりのベクトルが存在する。また，**図３**中の円は電源電圧ベクトルの軌跡を示している。破線は出力電圧ベクトルの外側を結んだ線であり，この範囲内の電圧は PWM によって平均的に出力可能であり，これに内接する円は，低次高調波の発生なしに出力可能な最大電圧の軌跡を示している。

2.3　解析法の適用例

図４は，**図１**に示したマトリックスコンバータの回路からスイッチ３個を取り去った回路である。この回路は入力に対し，２個直列に接続した双方向性スイッチを各線間にデルタ結線することからデルタコンバータ[3]と呼ぶ。この解析法をデルタコンバータに適用し，その動作の解析例を以下に述べる。

図４　デルタコンバータの回路

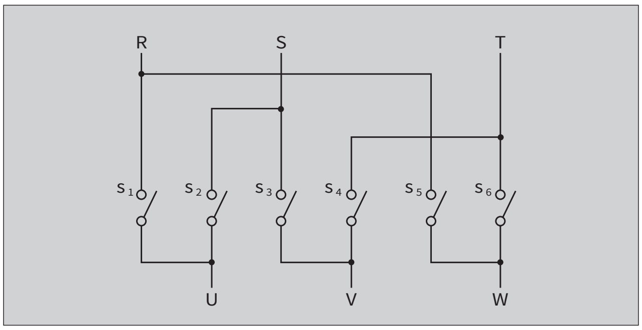
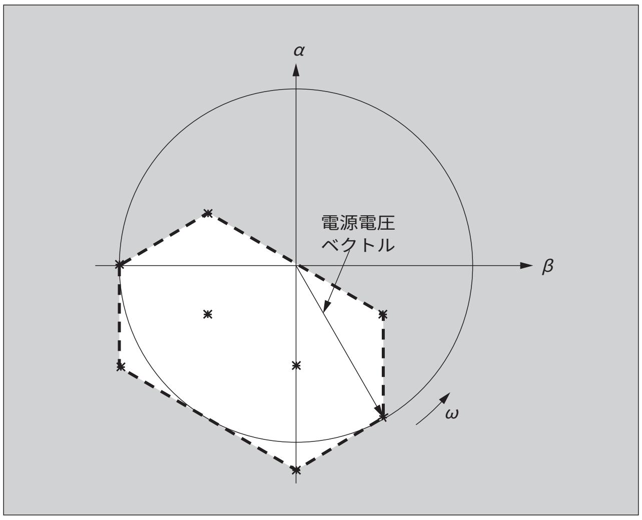


図５　デルタコンバータの瞬時空間ベクトル



式(4)は，デルタコンバータのスイッチマトリックスを示しており，**図５**はある電源位相での出力電圧の瞬時空間ベクトルと PWM によって出力可能な電圧範囲を示している。

$$S = \begin{bmatrix} S_1S_3 & S_2S_4 & -S_1S_4 \\ -S_6S_3 & S_3S_5 & S_4S_6 \\ S_2S_6 & -S_2S_5 & S_1S_5 \end{bmatrix} \cdots\cdots (4)$$

この回路は，出力の三相ごとに二つのスイッチがあるため，出力電圧ベクトルは８とおりであり，任意周波数は出力できないが振幅の制御が可能である。さらに，同様の手法を用いて入力電流に関する瞬時空間ベクトルを求めると，入力電流の位相を制御可能な範囲が解析可能となる。これらの結果から，デルタコンバータは，120 °までの遅れ進み負荷に対し，電源電流の力率を１に制御しつつ，出力電圧の振幅が制御可能な VVCF（Variable Voltage Constant Frequency）回路であることから，誘導電動機の始動電流低減と力率改善を行う装置への適用が期待される。

３　直接リンク形変換回路

3.1　回路構成

図１に示した回路のマトリックスコンバータは，双方向スイッチを必要とし，そのスイッチに付加されるスナバ回路は交流スナバとなる。そこで，富士電機では，汎用 IGBT モジュールとインバータ装置に広く採用されている

直流スナバ（RCD スナバ，C スナバ）を適用した直流クランプ形双方向スイッチ回路[4]を基本構成とする直接リンク形変換回路[5]を開発した。

図 6に，この回路の主回路構成を示す。なお，この回路は，出力電圧の瞬時空間ベクトルが**図 3**のマトリックスコンバータと等しいので，マトリックスコンバータと同等の機能を有しており，入力電流制御と出力電圧制御の両立が可能である。

3.2　実験結果

図 7に，三相 200 V 入力，2.2 kW（4 極）の汎用電動機を，キャリヤ周波数 16 kHz にて駆動した場合の出力電圧電流波形を示す。電動機に印加される電圧波形は入力電圧が直接裁断，分配されているため，ピーク値は三相全波の軌跡を描いているが，出力電流は実用上問題のない程度の正弦波状の電流波形が得られている。

図 6　直接リンク形変換回路

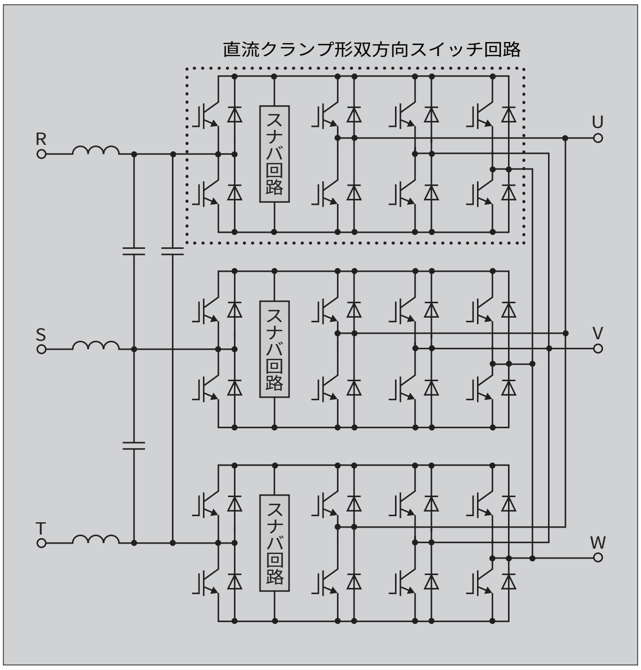
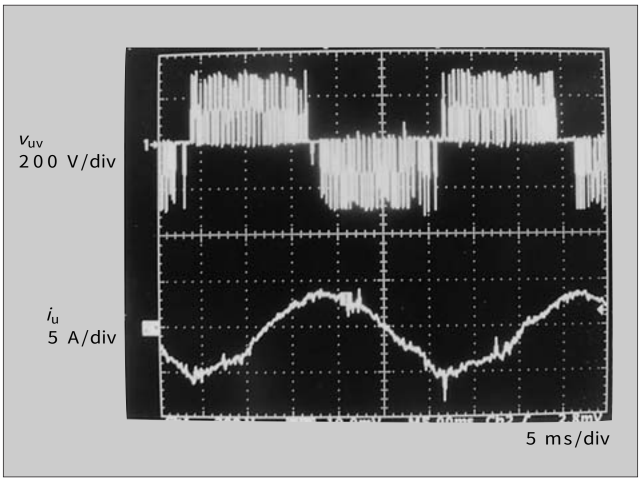


図 7　直接リンク形変換回路の電圧電流波形



A6757-17-168

4　新方式単相高力率変換回路

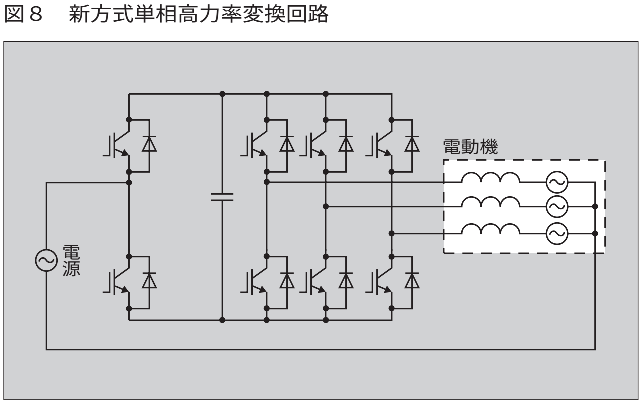
単相入力の小容量インバータにおいても，「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」によって，装置の発生する高調波が規制される。単相入力回路は，入力周波数の 2 倍の電力リプルを吸収するために，三相入力回路に比べて直流中間コンデンサの容量を大きくするので，力率改善用リアクトルのインダクタンス値も大きいものが使用される。そのため，装置の小形化と電源電流のより完全な正弦波化を狙った PWM コンバータの適用が期待されており，電源回生機能を要求される場合はフルブリッジ形の PWM コンバータが使用される。富士電機では，PWM コンバータの小形化・低コスト化を実現する新方式の単相高力率コンバータを開発[6]したので，以下においてその概要を紹介する。

4.1　回路構成と動作原理

図 8に，開発したフルブリッジ形の新方式単相高力率変換回路の回路構成を示す。この回路は，従来のフルブリッジ形の PWM コンバータと同等の機能を有しており，電源電流の正弦波化と電源回生を実現する。回路の特徴は，単相電源端子の一方がコンバータ部の上下アームの中点に接続され，他方はインバータで駆動される電動機の固定子巻線の中性点に接続されている。したがって，単相電源電流は，電動機の零相電流として直流中間部へ電力を供給する。

この回路の動作原理を説明する。まず，負荷である三相電動機の制御は，従来と同様に三相 PWM インバータの線間電圧を制御することによって行われる。一方，電源電流は，インバータの零相成分を制御することによって実現するので，インバータの 2 種類の零電圧ベクトルを使い分けることで制御される。これにより，この回路は従来のフルブリッジ形 PWM コンバータ回路とまったく同一の機能を実現しつつ，コンバータ部において一組の上下アームを省略することができる。また，スイッチング用に必要とされるリアクトルを負荷電動機の漏れリアクタンスで代用することができ，装置の小形化・低コスト化が可能となる。

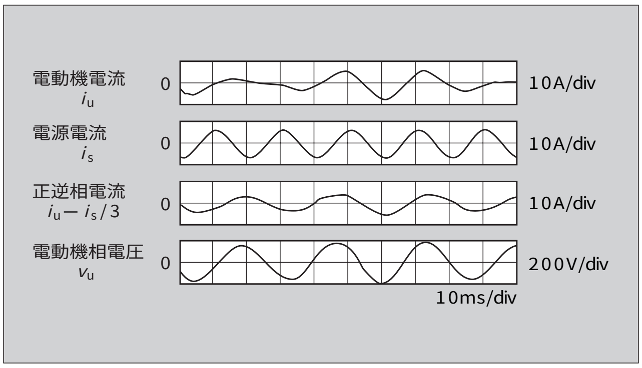
図 8　新方式単相高力率変換回路



4.2　実験結果

三相 200 V 入力，750 W（4 極）の汎用電動機を，単相 100 V入力の新方式単相高力率変換回路と組み合わせて可変速駆動を行った場合の実験結果を**図 9** に示す。実験は，直流中間電圧を 380 V まで昇圧し，600 V耐圧の IGBT をキャリヤ周波数 10 kHz で動作させ，出力周波数 33 Hz を指令している。インバータの出力電流波形 i_u は，50 Hz の電源電流と 33 Hz の電動機駆動用電流が重畳したひずみ電流となっているが，電動機の中性点を流れる電源電流 i_s は正弦波状の電流となっている。インバータ出力電流から電源電流の 1/3 を差し引いた電動機を駆動するための電流は，ほぼ正弦波状の電流となっており，電動機駆動に大きな外乱なしで電源電流の制御が行われている。

図 9　新方式単相高力率変換回路の電圧電流波形



5　あとがき

可変速駆動装置の新しい電力変換回路技術として，三相－三相直接変換回路の解析法，具体的回路としてデルタコンバータと直接リンク形変換回路，そして，新方式の単相高力率変換回路を紹介した。富士電機では，さらなる新回路技術の開発を積極的に行い，今後も，社会のニーズにこたえた製品を提供していく所存である。

参考文献

(1)　Venturini, M. et al. : A New Sine Wave In, Sine Wave Out Conversion Technique Eliminates Reactive Elements, Proceeding of Power Conversion, Vol.4, No.1（1980）
(2)　伊東淳一・藤田光悦：AC-AC 直接変換回路の解析法，電子情報通信学会技術研究報告書，Vol.97，No.43，p.107-114（1997）
(3)　伊東淳一・藤田光悦：力率調整機能を有する新型 AC-AC 変換回路，電気学会全国大会，812（1997）
(4)　大熊康浩ほか：新方式 SMR コンバータ，電気学会論文誌，Vol.114-D，No.5，p.544-550（1994）
(5)　三野和明ほか：双方向スイッチ回路を用いた直接リンク形変換回路の基本動作，電気学会産業応用全国大会，Vol.2，No.50，p.81-86（1997）
(6)　伊東淳一・藤田光悦：零相電力を利用した新型単相－三相変換回路，電気学会産業応用全国大会，Vol.2，No.53，p.93-96（1997）

富士時報　Vol.70 No.12 1997

電力変換器の低ノイズ化技術

石井　新一（いしい　しんいち）　　五十嵐 征輝（いがらし　せいき）　　豊崎　次郎（とよさき　じろう）

1　まえがき

インバータ・サーボに代表されるパワーエレクトロニクス応用機器（以下，パワエレ応用機器という）は，生産性の向上，省エネルギー化などに対応するため，生産工場から一般家庭に至るまで幅広く使用されている。

これらの機器は，今後さらなる普及が見込まれるが，その反面，これらの機器から発生するノイズが他の機器へ与える影響について懸念されている。

これらの機器から発生するノイズは，①電源系統へ流出する電源高調波電流（以下，電源高調波という），②機器の主電源端子から発生する妨害電圧（以下，主電源端子妨害電圧という），③機器自体から発生する電磁放射妨害の電界強度成分（以下，電磁放射妨害波という）の3とおりに大別できる。さらにこれらのノイズは各種ガイドラインなどで規制されている[(1)〜(3)]。

本稿では，これらのノイズの抑制技術の一端を紹介する。

2　ノイズ抑制技術

2.1　電源高調波の抑制

多くのパワエレ応用機器の主回路には交流電圧を直流電圧に変換するための順変換器としてコンデンサインプット形ダイオード整流回路が使用されている。**図1**(a)に単相回路での順変換器部を示す。この図で電源から流れる電流は，リアクトル，単相全波整流器を通り平滑コンデンサを充電する。このとき，流れる電流と電源端子間電圧を**図1**(b)に示す。この図のように，電源に流れる電流はひずみ波となる。このひずみ波は，この電源と同一系統に接続される他の機器に過熱，騒音，振動などの影響を及ぼす懸念がある。よって，このひずみ波電流，いわゆる電源高調波を抑制することが必要となる。抑制方法としては，リアクトルの接続やPWM（パルス幅変調）コンバータの使用がある。

図2に電源高調波抑制方式の一例を示す。この方式では，系統電流を直接制御するので系統電流センサが必要となり，コンバータの制御回路と電流検出器との絶縁が必要となる。

図1　コンデンサインプット形ダイオード整流回路の構成と動作波形

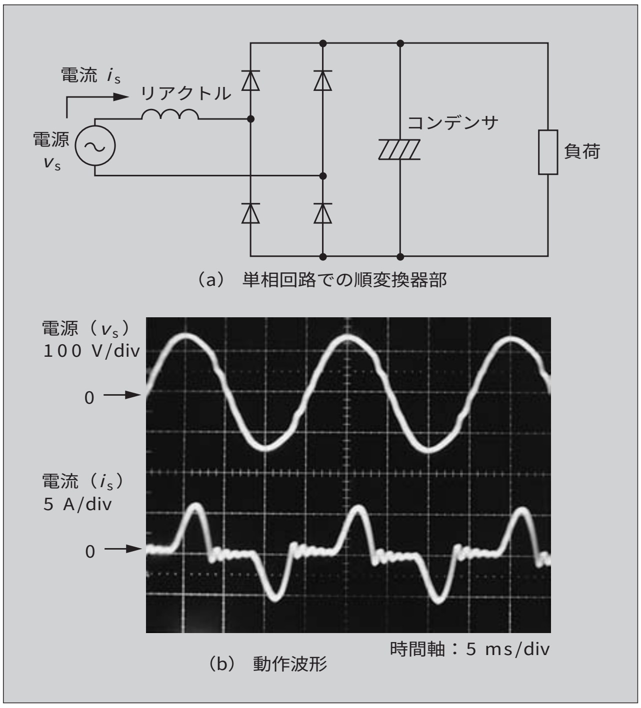
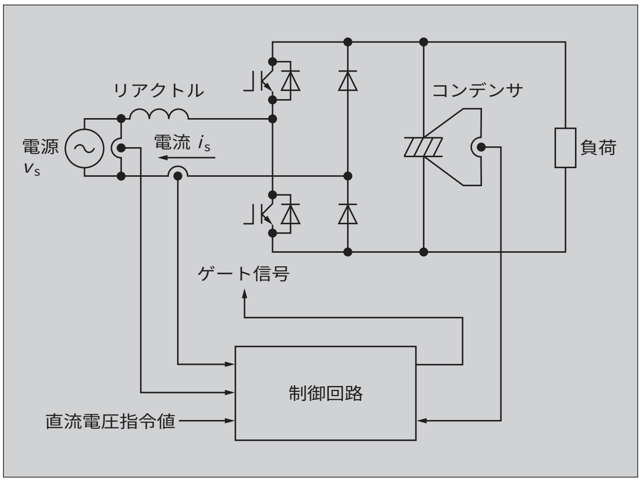


図2　系統電流センサ付単相PWMコンバータの回路構成



石井　新一

交流可変速駆動装置の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所主任技師。

五十嵐 征輝

パワーエレクトロニクス製品の開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所コンポーネント開発グループ副主任技師。

豊崎　次郎

電力変換装置の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所。

そのため，回路構成が複雑となり信頼性が下がるなどの要因となった。

ここでは，系統電流センサを用いずに電源高調波を規制値以下に抑制する方式を紹介する。

図3(a)に系統電流センサレス単相 PWM コンバータの回路図を，**図3**(b)にその動作波形を示す。この動作波形から分かるように電源高調波規制値を満足する。この方式の特色は，系統電流センサの代わりに直流電流センサを用いることで，主回路との絶縁を不要としている。

この系統電流センサレス単相 PWM コンバータの動作原理を簡単に説明する。

電源高調波を低減するには，電源と同相な正弦波電流を流せばよい。つまり，電源電圧にリアクトルでの電圧降下分を加算した正弦波電圧をコンバータ入力電圧として発生すればよい。具体的には，コンバータ出力電力とリアクトルのリアクタンスとから，電源力率を 1 とする正弦波電圧を演算する。そして，演算により求めた電圧をコンバータ入力電圧として発生させると定常状態で系統電流は正弦波状になる。

2.2　主電源端子妨害電圧の抑制

パワエレ応用機器が発生する主電源端子妨害電圧は，機器の主回路に使用している半導体スイッチング素子がオンオフすることで高調波電流が機器から系統電源へ流れることで発生する。詳細な発生メカニズムは技術報告書などにある[(4)]。ここでは，その発生メカニズムを簡単に説明する。

半導体スイッチング素子がオンオフすることで流れる高調波電流は，機器を構成する電気部品の漂遊インダクタンスや漂遊キャパシタンスに，半導体スイッチング素子がオンオフするときに発生する電圧変化（以下，dv/dt という）を印加することで流れる。つまり，この高調波電流は半導体スイッチング素子の dv/dt に依存している。よって，dv/dt を小さくすればこの高調波電流は減少し，主電源端子妨害電圧を抑制することができる。

このためには，主回路に使用している半導体素子，具体的には IGBT 素子の dv/dt を小さくすればよい。ここでは，dv/dt を小さくするゲート駆動回路を紹介する。

図4(a)に受動素子のみによるゲート駆動回路，**図4**(b)に能動素子を使用したゲート駆動回路を示す。これらのゲート駆動回路で IGBT 素子を駆動したときのターンオフ時の動作波形を**図5**，**図6**に示す。**図5**は，**図4**(a)の回路構成で切換スイッチ（SW3）によりゲート電流値を変えたときの dv/dt の違いを，**図6**は，**図4**(b)の回路構成で，切換スイッチ（SW3，SW4）をオフした場合とオンオフ判別回路に従い作動させた場合とでの dv/dt の違いを示している。これらの動作波形から分かるように，ゲート駆動条件により dv/dt を抑制できることが分かる。以下，これらの駆動法の動作を説明する。

図3　系統電流センサレス単相 PWM コンバータの回路構成と動作波形

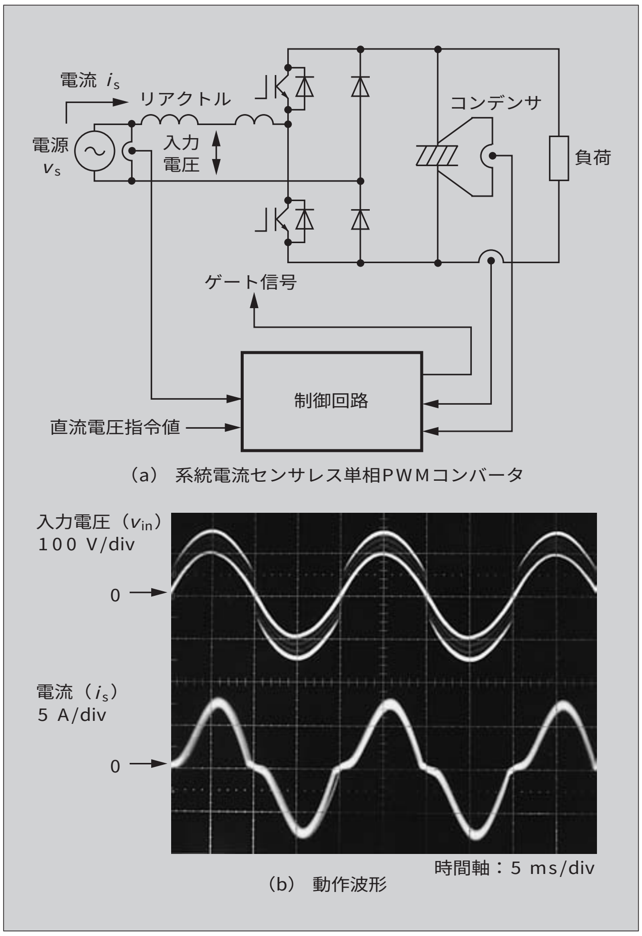
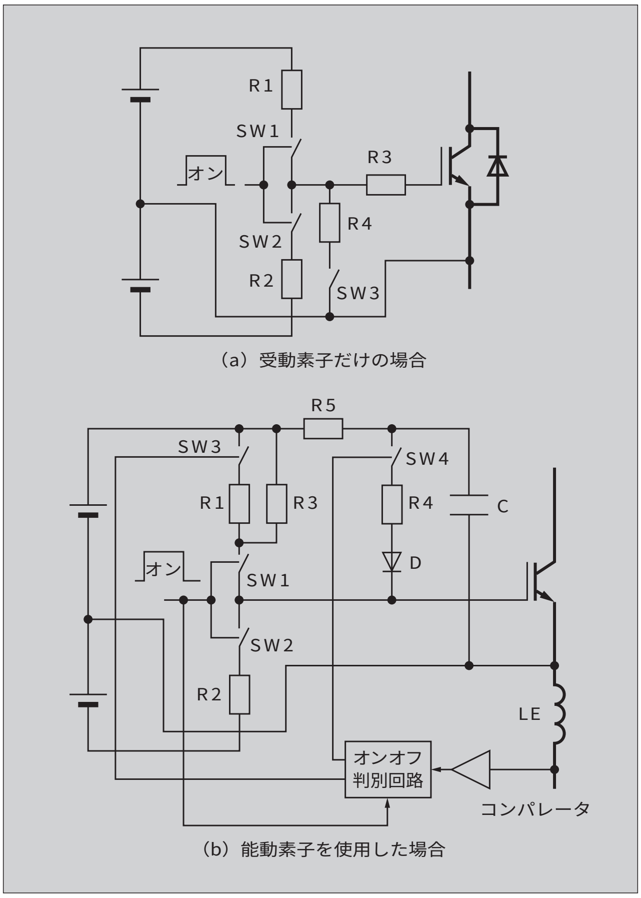
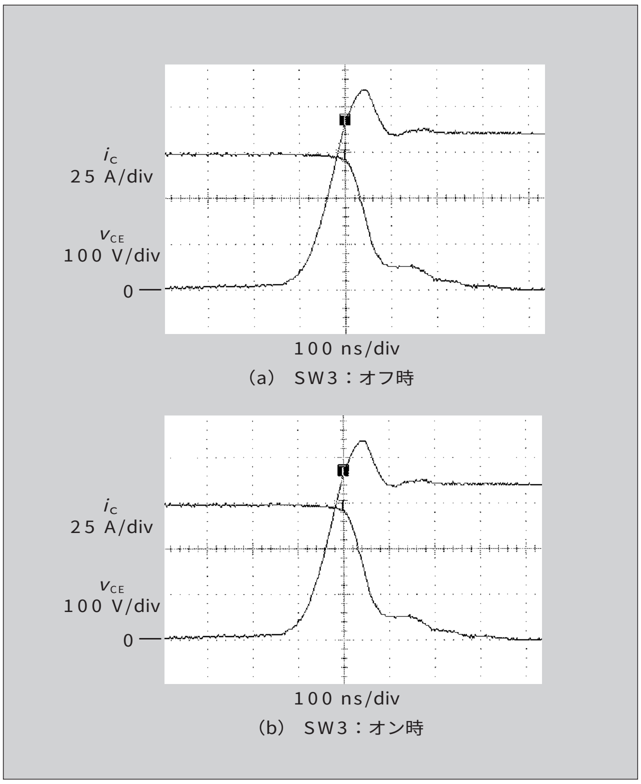


図4　ゲート駆動回路



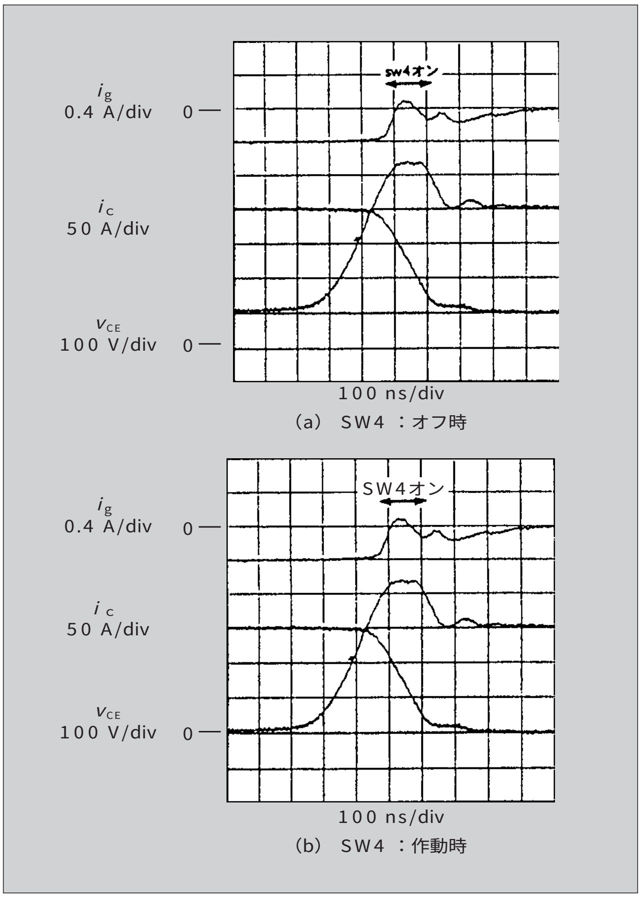
まず，IGBT の dv/dt はゲート抵抗値に依存することが知られている。一般にゲート抵抗値を大きくすると，dv/dt は小さくなる傾向がある。この特性を利用して dv/dt を抑制する。**図 4**(a)の回路構成はあらかじめ外部からスイッチ（SW3）でゲート抵抗値を切り換えてから駆動する方法である。この方法の特色は，スイッチ（SW3）を切り換えることでゲート電流の大きさを変えられるようにした点にある。そのため，少ない部品点数でゲート駆動回路を構成できる。その反面，dv/dt を小さくすることはできるが dv/dt が大きいときのスイッチング損失と比べ dv/dt を小さくしたときのスイッチング損失が大きくなるという短所を持ち合わせている。この方法は，発生ノイズを抑制するのに，スイッチング回数（周波数）を低減してもよい用途への応用ができる。

図５　動作波形（使用デバイス：2MBI 75-060N）



(a)　SW3：オフ時
(b)　SW3：オン時

図６　動作波形（使用デバイス：2MBI 150N-060）



(a)　SW4：オフ時
(b)　SW4：作動時

前述の方法を発展させた方式が**図 4**(b)に示す回路構成である。この方式は，IGBT モジュール内の IGBT チップとモジュール端子台間の配線インダクタンスを利用して電流変化をとらえ，オンオフ時のゲート抵抗値およびゲート電圧を抑制することで dv/dt を小さくし，かつスイッチング損失を抑えることができる[(4)]。

2.3　電磁放射妨害波の抑制

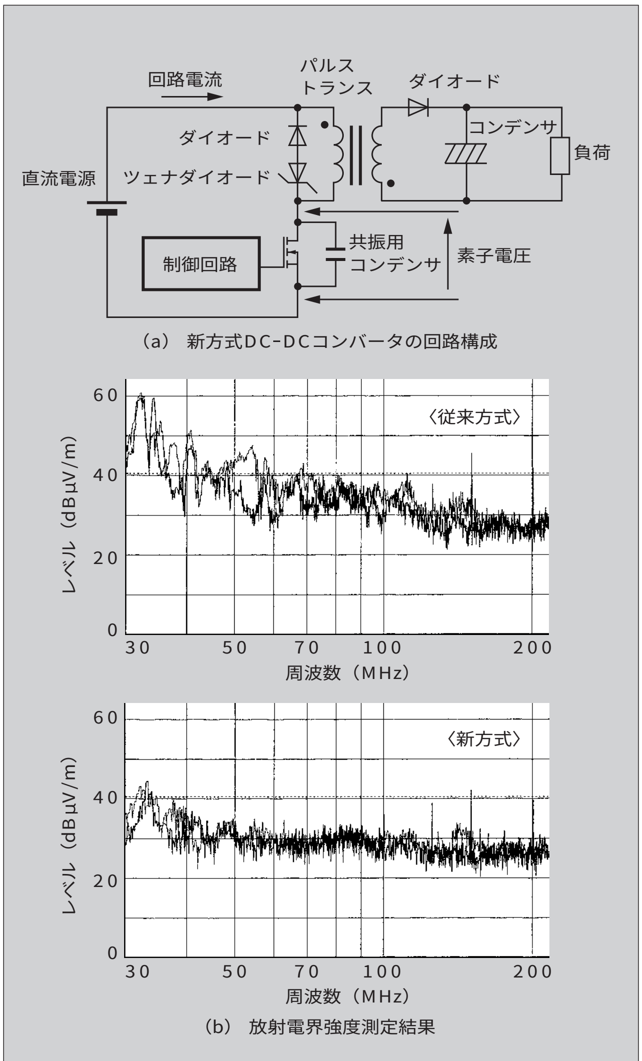
パワエレ応用機器から発生する電磁放射妨害波は，主電源端子妨害電圧と同様に，機器から系統電源などへ流れる高調波電流に起因する。主電源端子妨害電圧に比べ周波数帯域が高いため電磁波となり，機器から放射されてしまう。詳細な発生メカニズムは技術報告書などにある[(4)]。

インバータ・サーボアンプで電磁放射妨害波の主な発生源は，これら機器の主回路や制御回路用電源として使用するスイッチング電源で使用している半導体スイッチング素子のオンオフ時に発生する。前者の抑制法は **2.2** 節で述べたとおりである。ここでは後者の抑制法を述べる。これらのスイッチング電源はコストパフォーマンスの関係から一般にフライバック形 DC-DC コンバータ（以下，DC-DC コンバータという）が採用されている。この DC-DC コンバータから発生する電磁放射妨害波を抑制するには，主スイッチの dv/dt を小さくすればよい。また主スイッチに使用している素子は，たいてい IGBT もしくは MOSFET などである。これらの素子の dv/dt を小さくするには前節同様ゲート抵抗値を大きくすればよいが，当然のことながらスイッチング損失の増加が見込まれ，効率の低下や素子の冷却体が大きくなることなどが予想される。さらに，スイッチング時間が長くなるため高い周波数によるスイッチングが困難となる。その結果，DC-DC コンバータに使用しているパルストランスの体格が大きくなる。

ここでは，共振現象を利用した DC-DC コンバータを紹介する。**図 7**(a)に新方式 DC-DC コンバータの回路構成を，**図 7**(b)に従来方式と新方式による放射電界強度測定結果を示す。**図 7**(b)から分かるように，新方式では約 15 dB（35 MHz 付近にて）電磁波が減っている。次に，この新方式 DC-DC コンバータの動作を簡単に説明する。

図 8 に新方式の動作チャートを示す。この図において，パルストランスのリセット（モードⅢ）が終了し，共振現

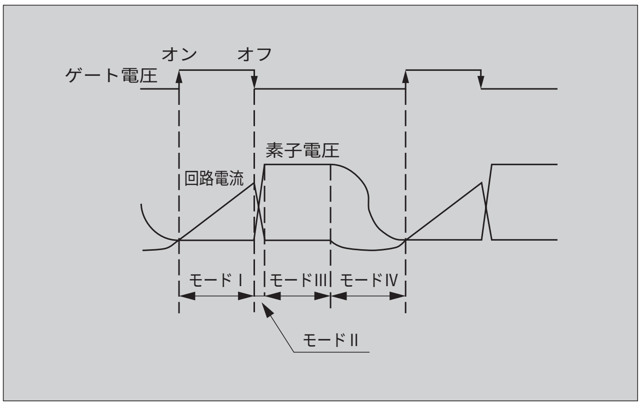
図７　DC-DC コンバータの回路構成と放射電界強度測定結果



（a）新方式DC-DCコンバータの回路構成

（b）放射電界強度測定結果

図８　動作チャート（新方式）



象はパルストランスの一次インダクタンスと共振用コンデンサとで起きる（モードⅣ）。素子電圧は，この共振現象で決まる *dv*/*dt* で低減していき，この共振現象の谷の点で，ターンオンさせればターンオン時の *dv*/*dt* は共振現象を利用しない場合に比べ小さくできる。かつ，スイッチング損失はゼロ電圧スイッチングとなれば原理的には発生しない。次にターンオフ時はこの共振コンデンサがスナバとして動作するので，ターンオフ時の *dv*/*dt* は小さくできる。かつ，ターンオフ時の素子電流はスナバへ転流するので，スイッチング損失は原理的にはゼロとなる。よって，スイッチング損失を増加させずに，*dv*/*dt* を小さくすることが可能となる。

3　あとがき

以上，電力変換器の低ノイズ化技術の紹介をした。今後ますます，これらの機器は社会の隅々まで普及していくと思われ，各種ノイズ規制も強化されると思われる。

よって，今後も市場が要求する低ノイズ化技術の研究・開発をタイムリーに進めていく所存である。

参考文献

(1) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部：家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン（1994）
(2) 通商産業省資源エネルギー庁公益事業部：高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン（1994）
(3) CISPR Pub.11（CISPR：国際無線障害特別委員会）（1990）
(4) パワーエレクトロニクス機器の電磁波ノイズ，電気学会技術報告，第 545 号（1995）
(5) 滝沢毅ほか：低ノイズ，スナバレス化を実現する IGBT 用ゲート駆動回路，電気学会研究会資料，半導体電力変換器研究会，SPC-96-111（1996）

新しい可変速制御技術

藍原　隆司（あいはら　たかし）　**海田　英俊**（うみだ　ひでとし）　**田島　宏一**（たじま　ひろかず）

1　まえがき

最近の制御技術開発の傾向として，誘導機駆動における低速でのトルク特性の改善[1]や高応答センサレスベクトル制御[2]，低回転むら，最短時間加減速技術などが挙げられる。

さらに機械系も含めた適応制御技術[3]や，省エネルギーのための同期電動機のセンサレス駆動技術なども検討されている。

これらのうち，誘導機駆動における低回転むらに関する技術，最短時間加減速技術と同期電動機のセンサレス駆動技術に関する以下の 3 項目を紹介する。

(1)　インバータ出力電圧制御技術

(2)　最短時間加減速技術

(3)　同期電動機のセンサレス駆動技術

2　インバータ出力電圧制御技術

V/f 制御やセンサレスベクトル制御において，滑らかな回転を得るには，インバータ出力電圧制御技術が重要である。

電動機の回転むらの原因は，主としてインバータ出力電圧に関する以下の 3 要素である。

(1)　出力電圧オフセット

(2)　出力電圧の相間不平衡

(3)　主回路短絡防止時間に起因する電圧ひずみ

特に超低速では(3)が支配的となるが，わずかな電圧ひずみでもトルクリプルに影響するため，高速・高精度の電圧制御が必要となる。

これらの誤差要因は，PWM 制御のタイミング誤差や量子化誤差・スイッチングデバイスの動作遅れやオン電圧降下などに起因している。

従来はこれらに起因する電圧誤差に対して，ソフトウェアによる補正や PWM 制御のタイミング誤差補正などが行われてきた。しかし，さまざまな要因による電圧誤差を高速にすべて補正することは非常に困難である。

これに対して富士電機では，ディジタル電圧制御技術を開発し，高速・高精度な電圧制御に基づく低回転むらを実現している。

図１にシステム構成の例を示す。センサレスベクトル制御演算の結果，電圧指令が出力される。インバータの出力電圧がこの電圧指令に一致するように，電圧フィードバック制御を行っている。

電圧フィードバック制御を行うことにより，さまざまな要因による電圧誤差をほぼすべて補正することが可能となる。

またディジタル制御とすることで，高速サンプリング制御を実現するとともに，制御の高精度化・LSI 化による高集積化を可能にしている。

図２に V/f 制御における誘導機の無負荷時 0.06 Hz 駆動

図１　システム構成

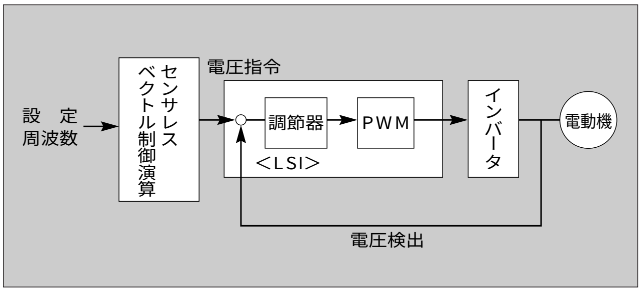
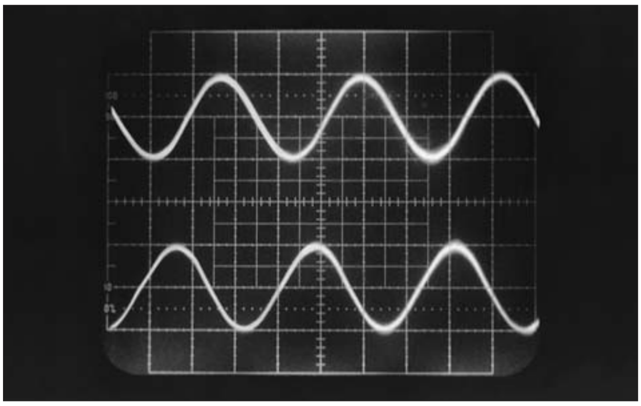


図２　0.06 Hz 時の電流波形（12.5 A/div，5 s/div）



藍原　隆司

可変速駆動システムの開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所駆動システム開発グループ主任技師。

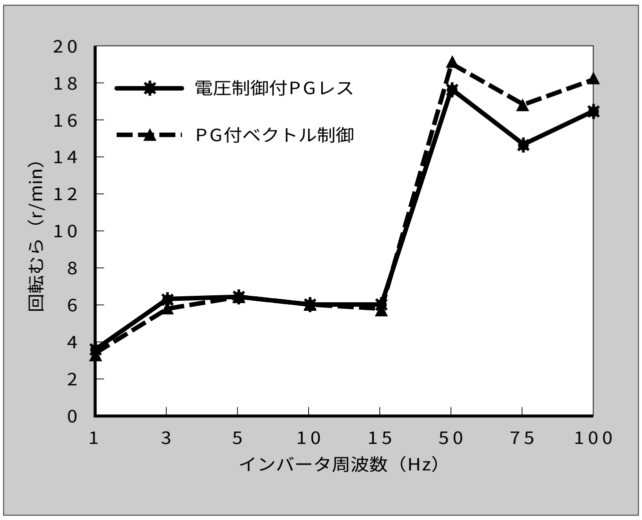
海田　英俊

パワーエレクトロニクス装置の開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所車両システム開発グループ主任技師。工学博士。

田島　宏一

パワーエレクトロニクス制御技術の研究・開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所駆動システム開発グループ。

図３　回転むらの比較



の電流波形を示す。電流制御を行っていないにもかかわらず，電圧制御が良好なため，このような低速においても非常に滑らかな電流波形が得られている。

図３に，回転むらの当社比較を示す。ディジタル電圧制御を行うことにより，PG（Pulse Generator）付ベクトル制御に匹敵する回転むらを得ることができた。

3　最短時間加減速技術

センサレスベクトル制御により，トルクの制御が可能となる。この応用により，加減速トルクを駆動システムが出せる最大トルクに制御することで，最短時間の加減速を実現できる。

図４は，センサレスベクトル制御による速度－トルク特性である。実線は実測値であり，破線は理想曲線である。定出力域まで，ほぼ理想曲線に沿ったトルクの制御ができていることが分かる。このトルク制御機能を応用することで本最短時間加減速機能を実現できる。

図５は，センサレスベクトル制御を応用したトルク制限加減速波形である。5,400 r/min までの加減速を，ほぼ一定の電流で実現している。特に 1,500 r/min 以上は定出力領域であるため，トルクが周波数に反比例して低減する。これに伴って，高速域の出力周波数の変化率が自動的に小さくなっている。

この機能を用いれば，加減速時間を短めに設定するだけで，最短時間加減速が可能である。したがって，従来のように加減速時間の調整や加減速パターンの調整をする必要がなく，セッティングの手間を省略できる。

4　同期電動機のセンサレス駆動技術

永久磁石形同期電動機（以下，PM モータと略す）は，誘導機のような回転子部の二次抵抗損失がないことから，低損失で小形化できるというメリットがある。この小形・高効率のメリットを生かし，PM モータの適用分野が広がりつつある。

図４　速度－トルク特性

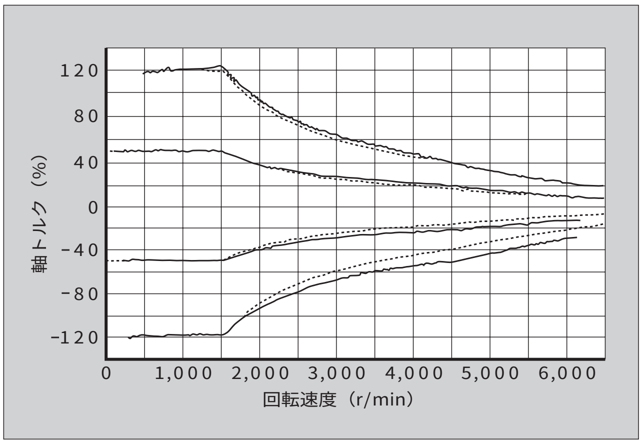
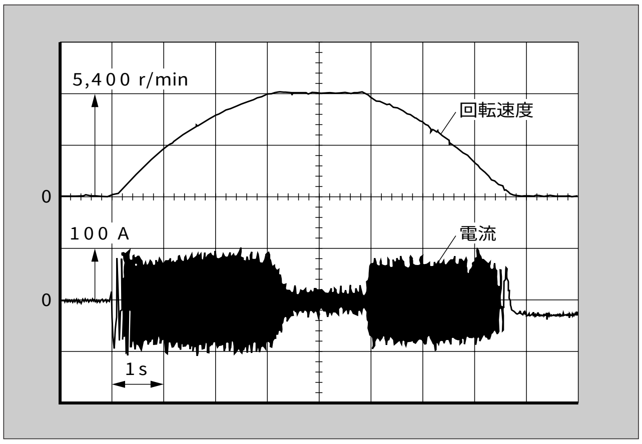


図５　トルク制限加減速波形



サーボモータなどの PM モータ駆動では，位置・速度センサが使用されている。しかし，ファン・ポンプなど省エネルギー用途では，通常，動力線の配線だけで使用されることから，センサレス駆動が要求される。

PM モータのセンサレス駆動は，電動機の誘起電圧を利用した駆動方式がすでに確立しているが，停止状態あるいは回転状態からの始動方法と数十 r/min 以下の低速制御方法とはいまだ研究段階にある。

富士電機では，これらについても先進的な技術開発を行っている。

停止状態からの始動方法と超低速制御方法については，電気的突極性を利用した方法を提案している[4][5]。ここでは，回転子位置によって，インダクタンスが変化するような特性を持つ電動機を用いている。動力線を介してインダクタンス変化を観測し，回転子位置を検出することでセンサレス駆動を実現している。以下にこのシステムの特性を紹介する。

図６は，10 r/min の回転指令で定常運転したときの速度波形である。このような低速においても滑らかな回転を得られている。

図７は，0 r/min の回転指令でインパクト負荷を加えたときの速度波形である。ゼロ回転状態にもかかわらず，定

図6　定常特性（10 r/min，無負荷）

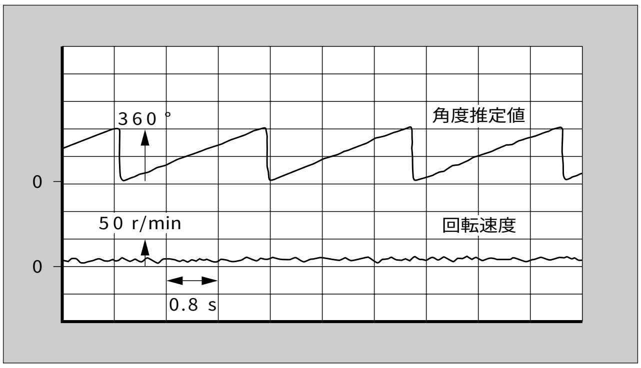
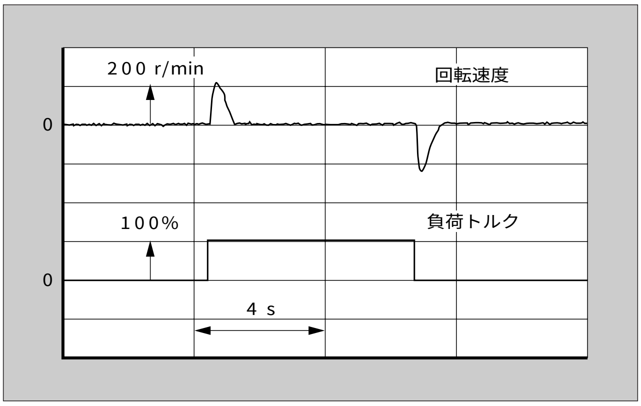


図7　負荷印加特性（定格負荷）



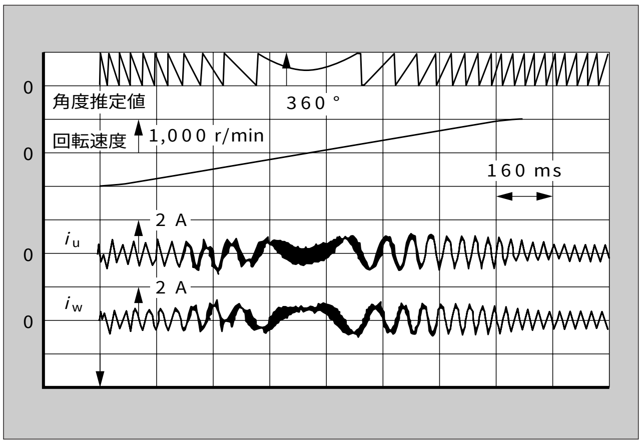
格トルクを発生できている。

ファンなどの用途では，風などで電動機が回転している状態からの始動もできなくてはならない。インバータに電圧検出器がない場合には，通常回転子の位置・速度を知ることができないため，始動時に脱調する可能性がある。

このような状況からの始動方法についても，電動機の誘起電圧から瞬間的に位置・速度を推定する方法を提案している[(6)]。ここでは，始動時にインバータを用いて電動機出力を一瞬短絡している。このときの短絡電流を観測することで，回転子位置と速度を推定し，電動機端子電圧とインバータ出力電圧を一致させてから，ソフトに始動するシステムを実現している。

図8は，このシステムにおいて－1,000 r/min でのフリーラン状態からインバータを始動し，+1,000 r/min まで加速したときの速度・電流波形である。インバータ始動時に突入電流もなく，良好な始動ができていることが分かる。

図8　回転状態からの始動波形



5　あとがき

以上，新しい可変速制御技術として，誘導機における低回転むらに関する技術，最短時間加減速技術と同期電動機のセンサレス駆動技術を紹介した。これらは，市場の要求にこたえて，可変速駆動装置をさらに高性能化するものである。

これからも市場ニーズの実現のため，新しい技術に挑戦を続けていく所存である。

参考文献

(1)　山添勝ほか：高性能汎用インバータ FRENIC5000G9S/P9S，富士時報，Vol.67，No.11，p.593-598（1994）

(2)　鉄谷裕司・田島宏一：高性能ベクトル制御インバータ FRENIC5000VG5，富士時報，Vol.68，No.12，p.670-675（1995）

(3)　海田英俊・藍原隆司：電動機駆動への適応制御の応用，富士時報，Vol.67，No.4，p.237-240（1994）

(4)　藍原隆司ほか：センサレス方式による突極形同期モータのゼロ速トルク制御，平成8年電気学会産業応用部門全国大会，No.170，Ⅲ-p.1-2（1996）

(5)　藍原隆司ほか：Sensor-less Torque Control of Salient-Pole Synchronous Motor at Zero Speed Operation，APEC ’97，Vol.2，p.715-720（1997）

(6)　鳥羽章夫ほか：位置・速度・電圧センサレス PM モータ駆動システムの回転状態からの起動法，平成9年度電気学会産業応用部門全国大会，No.135，Ⅲ-p.111-112（1997）

汎用インバータの小形化技術

市原　孝男（いちはら　たかお）　　岡本　健次（おかもと　けんじ）　　塩川　　治（しおかわ　おさむ）

1　まえがき

電力変換装置である汎用インバータは一般産業装置の高機能化，省エネルギー化，省力化などに適した製品であり，市場規模も年々伸長を続けている。

これは，汎用インバータの小形化，低価格化，高性能化，高信頼性化などによるものである。とりわけ，小形化は目を見張るものがあり，**図1**に示すように汎用インバータが初めて市場に展開されてから現在に至るまで1/10以下の体積となった。このことが汎用インバータの用途拡大に大いに貢献している。

本稿では，富士電機が培ってきた代表的な小形化要素技術についてその概要を述べる。

2　制御回路の小形化技術

2.1　1チップMPUの開発

汎用インバータが出始めた当初は，すべての機能をハードウェアで実現していたため，制御基板の専有面積はかなり大きくなっていた。その後，マイクロプロセッサ（MPU）を導入，ソフトウェアで汎用インバータの処理のほとんどを行い，PWM発生部やその他のソフトウェアで処理速度が足らない部分はハードウェアで実現することにより，シンプルなハードウェア構成で高機能な汎用インバータの実現を可能とした。さらに，従来はMPU＋ASIC（特殊用途向けIC）で制御回路を構成してきたが，LSIプロセス技術もミクロンオーダーからサブミクロンオーダーの集積技術が開発され，1チップで汎用インバータの制御が可能となった。これにより，MPU＋ASICの構成に比べ，約1/2以下の実装面積で済むようになった。

図1　汎用インバータ小形化の変遷[(1)]

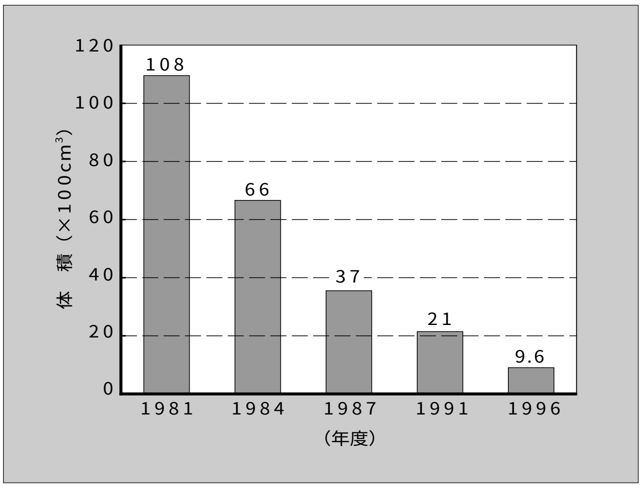


図2　電圧・電流検出方式（非絶縁）

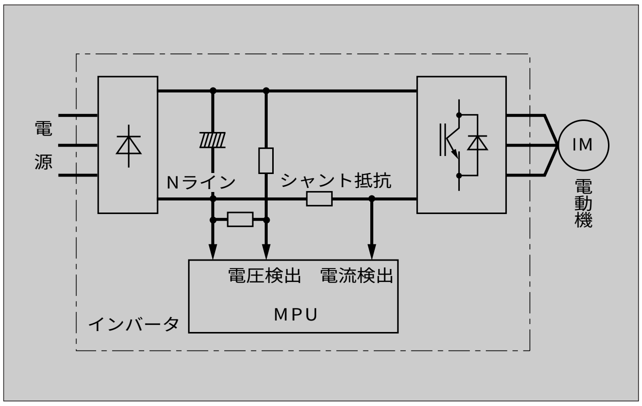


図3　小形汎用インバータの制御基板の外観

市原　孝男

汎用インバータのエンジニアリング業務・開発・設計に従事。現在，鈴鹿工場インバータ開発部主任。

岡本　健次

電力機器，電子機器の絶縁材料・絶縁技術の研究開発に従事。現在，(株)富士電機総合研究所材料技術研究所材料技術Ⅰグループ。

塩川　　治

汎用インバータの開発・設計に従事。現在，鈴鹿工場インバータ開発部。

2.2　検出回路の小形化

主回路の電流や直流中間回路電圧の検出はすべて絶縁変換器を通して行われていた。現在の小形汎用インバータは，**図2**に示すように検出する電圧や電流を直接 MPU の A-D コンバータに入力可能なように，MPU 自体を直流中間回路の N ラインに接続する非絶縁方式を採用した。この方式により，絶縁変換器やそれに付随して必要な絶縁電源が不要となり，さらに，電圧や電流検出のインタフェースが分圧回路やシャント抵抗などのシンプルな回路になるので大幅な小形化が可能となった。

2.3　制御回路の実装技術

ベアの IC チップを直接プリント基板に実装する COB（Chip On Board）技術を導入することにより，MPU やアナログ IC 周辺の高密度実装を実現している。COB は，単に実装面積の縮小だけでなく，実装高さを低くすることが可能で，制御プリント基板を積層するとさらにコンパクト化が図れる。**図3**に COB 技術を用いた制御基板の外観を示す。内部では 2 枚のプリント基板が積層され，74.5 × 65 × 13（mm）サイズで小形汎用インバータの制御回路のすべてが構成されている。

3　制御電源回路・ゲート駆動回路の小形化

従来の制御電源は**図4**のように，コンバータの出力である直流電源から DC-DC コンバータで，MPU などのディジタル回路を駆動する 5V 電源，上アーム IGBT や下アーム IGBT を駆動する多数の電源を構成し，おのおのの電源は互いに絶縁されていた。また，ゲート駆動回路は，MPU から PWM 信号をホトカプラを通して伝達し，6 個の IGBT を制御していた。これらの回路を小形化するには各部品の小形化はもちろんのこと，各回路の役割を明確にして共通化を図ることが重要である。

3.1　制御電源数の削減，ゲート駆動 IC の採用

当初，DC-DC コンバータのスイッチング素子にはトランジスタを採用していたが，これを MOSFET に置き換え，スイッチング周波数を数十 kHz から百数十 kHz に上げることで，変圧器のコアの小形化や各制御電源の平滑用コンデンサの容量低減を可能にした。しかし，そのままでは汎用インバータに必要とされる制御電源の種類が多く，スイッチング周波数を上げた分に見合うだけの変圧器ボビンの小形化には至らなかった。そこで**図5**のように，従来は互いに絶縁していた変圧器の一次側，5V 電源，IGBT 上下アーム電源のグラウンドを共通電位とすることでボビンのピン数を削減し，変圧器を小形化した。さらに，3 種類の上アーム電位と 1 種類の下アーム電位がおのおのチップ内部で絶縁された構造のゲート駆動 IC を採用し，6 個のホトカプラを削減した。

3.2　固体コンデンサの採用

制御電源平滑用コンデンサとして，アルミニウム電解コンデンサが一般的であるが，基板上の他の部品に対し，面積，体積とも大きく，無駄な空間を作っている。汎用インバータの小形化を実現するには汎用インバータ内の空間を有効活用することが重要で，寸法の小さなコンデンサが要求される。また，コンデンサの置かれる周囲温度は，汎用インバータとしての最悪条件で 80 ～ 85 ℃であり，このような高温下においても寿命をアルミニウム電解コンデンサ

図4　従来の制御電源・ゲート駆動回路の構成

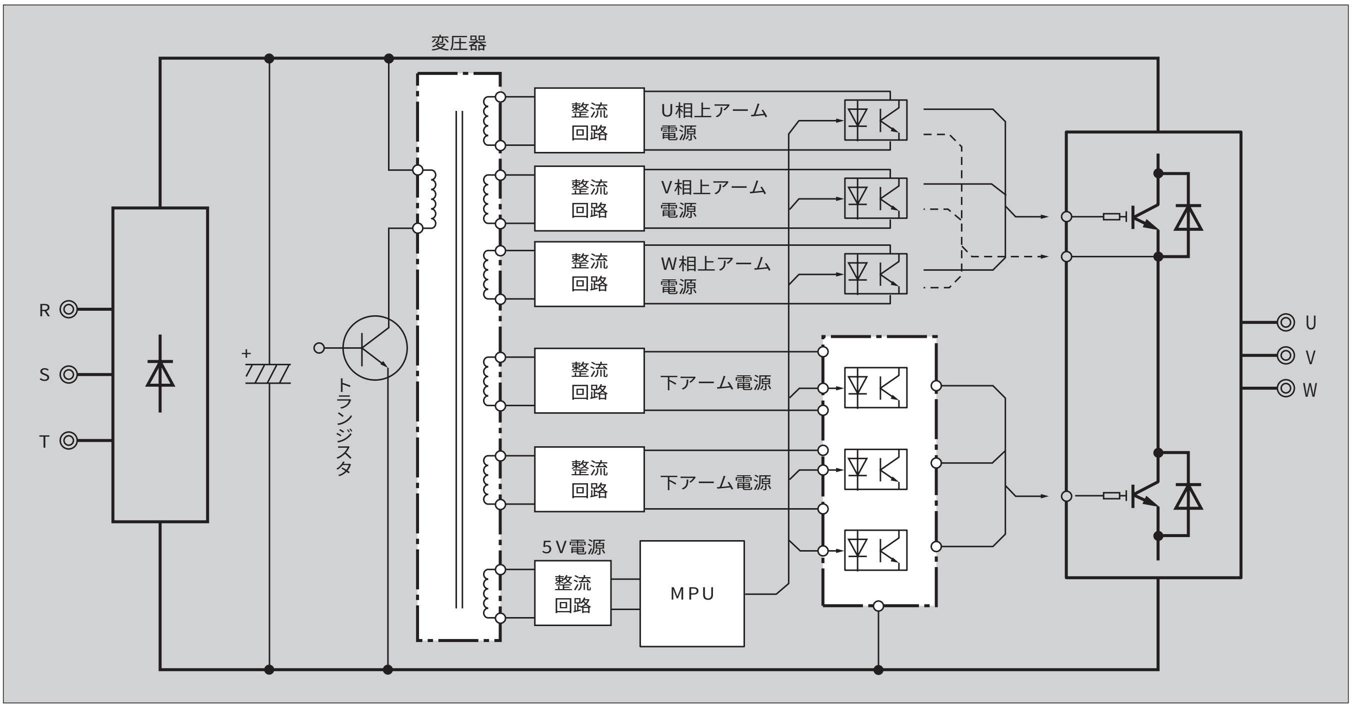


図５　小形化のための制御電源・ゲート駆動回路の構成

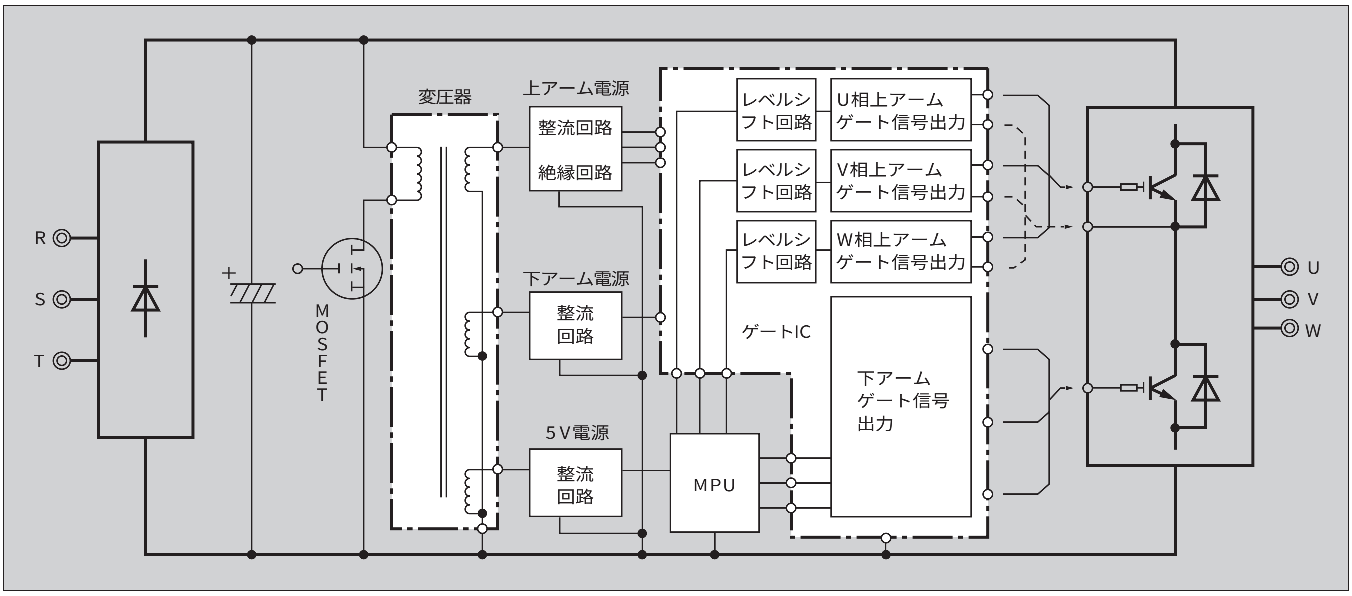


表１　固体コンデンサとアルミニウム電解コンデンサとの比較

項目＼分類	固体コンデンサ	アルミニウム電解コンデンサ
コンデンサ容量比	1	33
体　積　比	1	6

スイッチング周波数：100 kHz

並みにする必要がある。この要求に対応するため，コンデンサ寸法および等価直列抵抗（ESR）が小さく，許容リプル電流の大きな固体コンデンサを採用した。**表１**は同等の性能を出したときの固体コンデンサとアルミニウム電解コンデンサとの容量，寸法比較表である。

以上のように，部品自体の小形化や部品（特にホトカプラなど絶縁のために外形の大きな部品）点数の削減により，制御電源回路，ゲート駆動回路の基板面積を従来の約 1/2 に縮小した。

4　主回路の小形化技術

汎用インバータの小形化に不可欠な部品として富士電機独自の金属基板を開発しており，その背景や構造と特性，メリットについて以下に述べる。

4.1　複合金属基板開発の背景

汎用インバータの変換効率は 95 %程度であり，残りの 5 %は発生損失で，熱として最終的には外気に逃がす必要がある。小形化を実現するためには，この発生損失を低減するか，冷却効率を上げるかがポイントとなる。近年では，パワー半導体の動向として低損失素子が出現しているものの，損失と相反する関係にある汎用インバータからの発生ノイズの抑制や高速スイッチングによる低騒音化が市場要求となっているため，発生損失の低減は容易には見込めない。また，小形化のために部品の実装密度を上げようとすると，単位面積あたりの発熱量が増大し，部品の最高許容温度を超える部品が出てくるため問題となる。これらの課題を解決するには，汎用インバータの発生熱を効率よく放熱できる低熱抵抗で，高密度実装が可能な基板の開発が必要である。

IGBT や整流ダイオードなど損失の大きな部品は熱抵抗の小さな絶縁層を有する基板に，制御電源回路部品や制御回路部品など比較的損失が少ない箇所は浮遊容量の影響を小さくするため低誘電率化を優先させた絶縁層を有する基板に実装することが望ましい。小形化のため，またコスト的メリットを引き出すため，これら性質の異なる絶縁層を 1 枚の金属基板にしたものが複合金属基板である。

4.2　複合金属基板の構造・特性

複合金属基板は**図６**に示すように 1 枚の金属ベース上に 2 種類の特性の異なる絶縁材料を平面的に配置し，その上に銅はくを載せて真空加熱プレスにて製作される。この絶縁材料は，フィラーの充てん量を 75 %以上にして低熱抵抗化を優先させた絶縁層 A と，フィラーの充てん量を 0 %として低誘電率化を優先させた絶縁層 B から構成される。複合金属基板の代表的な特性を**表２**に示す。金属基板ではそのベースがアース電位となるのが通常であり，金属基板上の銅はくパターンとの絶縁破壊電圧は，実際にかかる最高電圧の 10 倍程度をマージンとして 10 kV 以上としている。

4.3　複合金属基板のメリット

複合金属基板はガラスエポキシ基板に対して熱抵抗が大幅に低いことから，以下のメリットが挙げられる。

(1)　実装部品の容量低減が可能

熱抵抗を比べると，金属基板（絶縁層 B の場合）はガラスエポキシ基板の約 1/4 であるため，従来 1 W の抵抗を使用していた場合でも 1/4 W の抵抗で十分になり，高

図６　複合金属基板の構造

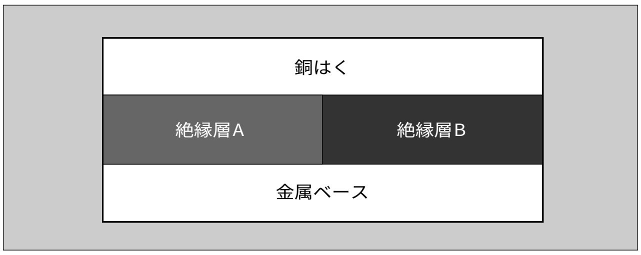


表２　複合金属基板の代表特性

項目＼分類	絶縁層A（パワー部）	絶縁層B（電源，制御部）
絶縁破壊電圧	10 kV 以上	
熱抵抗*	14	100
誘電率*	100	65

＊熱抵抗と誘電率は各絶縁材料との比率を示す。

密度実装が実現できた。

(2)　パターン幅の縮小が可能

実装部品以外に基板表面のパターンから発生する熱による温度上昇が低減できるため，同じ幅，同じ厚みのパターンであれば許容電流を大きくとれる。逆に，電流が同じであれば，パターン幅を小さくすることができる。

5　冷却フィンの小形化[(2)]

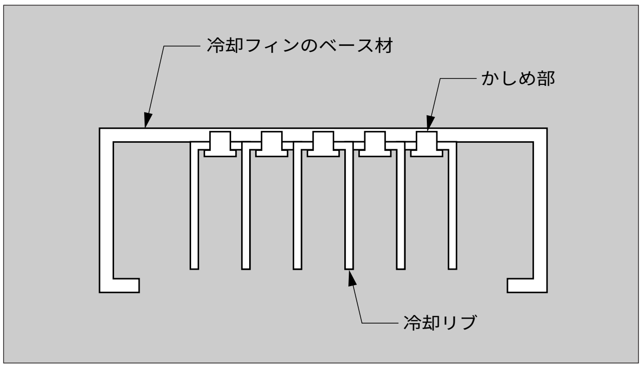
金属基板以外に，汎用インバータ内で発生する熱を効率よく放熱させる部品として冷却フィンがある。小形汎用インバータにおいては，冷却フィンの放熱性能がその外形サイズを大きく左右する。

従来は，アルミニウムをダイキャストで成形した冷却フィンが使用されるのが一般的であった。しかし，ダイキャストでは，

(1)　金型強度の点でリブの長さに制限がある。

(2)　流動性の点から肉厚を薄くできない。

図７　かしめフィンの構造



などの制約があり，小形で放熱効率のよい冷却フィンの製作が困難であった。これらの問題を解決するため，かしめ技術を応用した冷却フィンを開発した。**図７**にかしめフィンの構造を示す。かしめフィンは，薄いアルミニウムの板材を冷却フィンのベース材にかしめていくことにより，フィンの全体の放熱面積を大幅に向上させることができる。

この冷却フィンの採用により，従来のダイキャストフィンに対して，体積で 41 %，質量で 57 %に小形軽量化することができた。

6　あとがき

以上，電力変換装置である汎用インバータの小形化技術について，その概要を紹介した。今後，さらに市場規模を拡大させるには汎用インバータの小形化・低価格化は必要不可欠なアイテムであり，前章までに述べた技術をさらに発展させ，ユーザーの期待にこたえていく所存である。

参考文献

(1)　日本電機工業会：伸びゆくインバータ，97 年版（1997）

(2)　今村一彦ほか：超小形インバータ FVR-C9S，富士時報，Vol.67，No.11，p.599-602（1994）

大容量電力変換器

吉田　雅和（よしだ　まさかず）　望月　昌人（もちづき　まさと）　金沢　直樹（かなざわ　なおき）

1　まえがき

電動機駆動用インバータは，高性能，多機能，小形・低価格化などが評価され，適用分野が拡大するにつれ，大容量電動機を駆動できるインバータへの要求も強くなってきた。今回，一般産業用インバータとして広い適用実績のある FRENIC 5000G9S/P9S[(1)]，VG5S[(2)] シリーズおよび PWM コンバータ RHC シリーズに対応した大容量電力変換器を開発したので，その概要を紹介する。

2　主回路の構成と構造

2.1　基本構想と特長

変換器容量の拡大を図るとともに，これらの変換器が設置される設備の重要性を考慮し，保守性・保全性の向上を図り，以下の特長をもたせている。

(1)　下位の容量系列と機能・性能の統一

本変換器を使用し，FRENIC 5000G9S/P9S，VG5S シリーズおよび PWM コンバータ RHC シリーズの大容量化を図ったが，従来から発売されている中小容量と同一の制御方式と機能を持たせているので，それぞれのシリーズで小容量から大容量までの一貫したシステム構築を可能とした。

(2)　保守性の向上

変換器の主回路のうち，整流ダイオード，各相 IGBT 部を各トレーに分割し，盤内のラックに収納する構成とした。これにより，万一の故障時には，故障トレーだけを引き出し，あらかじめ用意した予備トレーと交換することで短時間での復旧が可能となった。

図１にインバータに適用した場合の盤内構造を示す。最上段が整流ダイオードトレー，2 段目が U 相の IGBT トレー，3 段目が制御プリント基板ボックス，4 段目・5 段目が V 相・W 相の IGBT トレーとなっている。これらのトレーは，主回路導体との接続や制御線コネクタを外すことで，簡単に手前方向に引き出すことが可能である。

図１　インバータ盤の構造

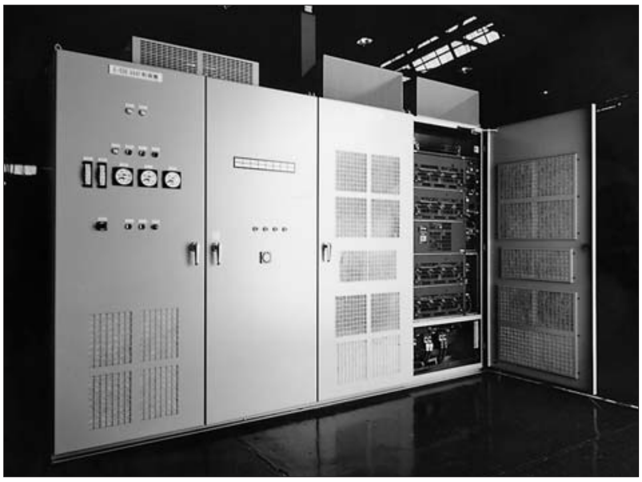
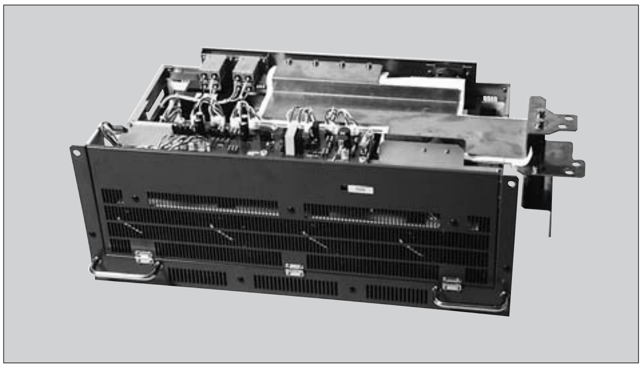


図２　IGBT トレーの外観



また，冷却効率の向上により小形化を図って，奥行寸法をすべて 600 mm とし，省スペース化，前面メンテナンス方式とした。これらにより，保守・点検は格段に容易となった。

(3)　保護機能の充実

中小容量シリーズの保護機能を継承し，さらに主回路入力の各相と IGBT 各相に半導体保護用ヒューズを設け，万一の事故に対しても事故の波及を限定できる構成とした。

また，各トレーに故障表示機能を持たせ，故障トレーの特定を容易にした。

吉田　雅和

インバータの開発設計に従事。現在，神戸工場制御設計部主査。

望月　昌人

インバータの開発設計に従事。現在，神戸工場制御設計部。

金沢　直樹

インバータの開発設計に従事。現在，神戸工場制御設計部。

2.2　主回路構成

本変換器に適用する三相ブリッジ部には，300 A 1,200 V の IGBT 素子を最大 8 並列接続することにより，大容量化を図った。この大容量化に伴い IGBT の電流分担が問題となるが，素子への配線バーのインダクタンスの低減，素子特性の管理などにより，素子間の電流バランスは 0.8 以上を達成している。

図 2 に IGBT トレーの外観を示す。IGBT 1 相分を収納したトレーには，IGBT を駆動するのに必要な電源回路，駆動回路および故障表示機能を収納している。

IGBT 冷却用ファンは，トレーを引き出さなくても，前面側のカバーを開けることにより，容易に交換が可能な構成としている。

3　各種変換器シリーズへの適用

3.1　インバータへの適用

本変換器を使用した製品の主な仕様を**表 1** に示す。いずれも，従来から発売されている中小容量と同一の制御方式，機能を持たせているので，小容量から大容量まで，一貫したシステム構築を可能とした。**図 3** に単器システム，多重化システムの主回路構成を示す。

3.1.1　単器対応

単器で駆動可能な標準適用電動機の最大容量を，定トルク負荷用（G9S）では 400 kW，二乗低減トルク負荷用（P9S）では 500 kW まで，高性能ベクトル制御インバータ（VG5S）では 400 kW まで拡大を図った。

従来，この容量範囲は，2 台のインバータを並列運転して対応してきたが，今回の単器容量の拡大により，盤寸法の大幅な小形化を可能とした。

3.1.2　多重化システム

400 kW を超える容量の電動機を駆動する場合，電動機を多重巻線とし，巻線ごとにインバータを設ける多重化システム（最大 6 多重まで）を VG5S シリーズで開発した。

二巻線電動機を駆動した場合の制御ブロック図を**図 4** に示す。マスタユニットは速度制御，ベクトル演算，電流制御を単器対応と同様に行う。スレーブユニットはマスタユニットから送られた各指令値に従い電流制御だけを行う。

マスタユニットとスレーブユニット間の制御情報のやりとりは，省線化，耐ノイズ性，高速性の要求から光ファイバを用いたシリアル通信方式を採用した。

スレーブユニットでは，位相角指令（θ^*），一次角周波数指令（ω_1^*），伝送遅れ時間，伝送周期から電流位相を決定するベクトル回転器（VD）の位相角データ補正を行い，伝送むだ時間による各ユニット間の位相角データのずれを解消した。その結果，高速回転でも各巻線間の電流バランスをとることができた。

表 1　大容量変換器の概略仕様

項目 ＼ シリーズ名	インバータ FRENIC5000			PWM コンバータ RHC
	G9S	P9S	VG5S	
容量範囲	～400 kW	～500 kW	～400 kW	～400 kW
過負荷耐量	150%	120%	150%	150%
制御方式	正弦波PWM制御・トルクベクトル制御		○ベクトル ○制御 ○ACR ○マイナ ○ループ付 ○ASR制御	○正弦波PWM ○制御 ○直流電圧一定 ○制御 ○力率制御
電源電圧	380–420 V/50 Hz 380–480 V/60 Hz		400–420 V/50 Hz 400–480 V/60 Hz	380–420 V/50 Hz 380–440 V/60 Hz

図 3　大容量 IGBT インバータの構成

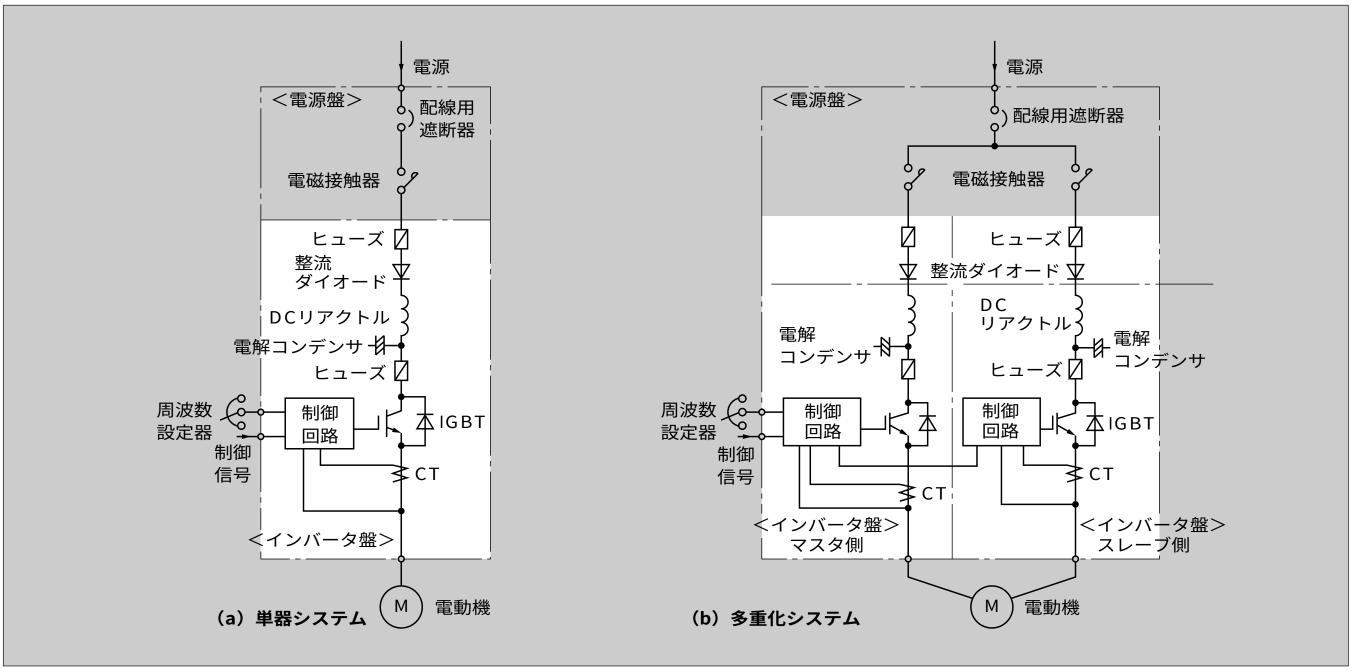
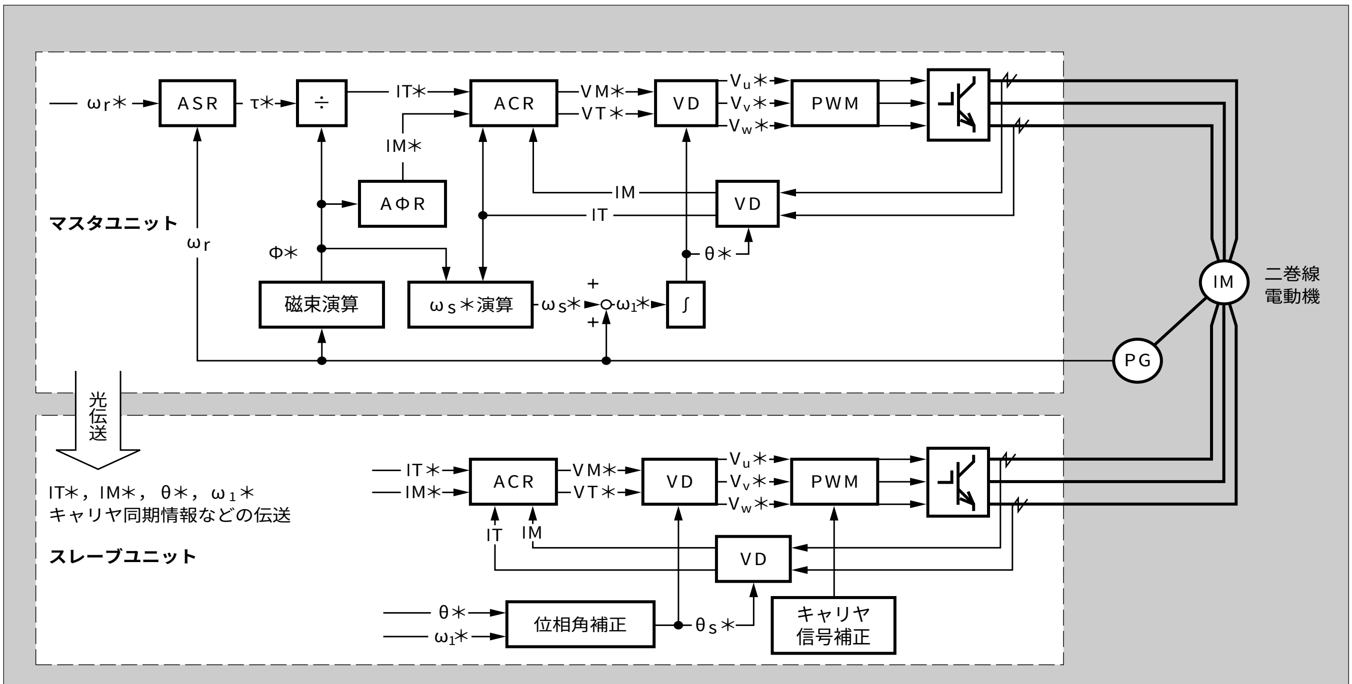


図４　多重化システムの制御ブロック図



IT*：トルク電流指令　IM*：励磁電流指令　ω1*：一次角周波数指令　θ*：位相角指令　θs*：補正後の位相角指令　ωr：速度検出値
ωs*：滑り周波数指令値　IT：トルク電流検出値　IM：励磁電流検出値　Φ*：磁束指令　ωr*：速度指令値
ASR：速度調節器　AΦR：磁束調節器　ACR：電流調節器　VD：ベクトル回転器　PG：パルスジェネレータ

従来は，マスタユニットとスレーブユニットのPWMキャリヤ信号の同期がとれない問題があり，電流リプルの増大を防止するため，インバータと電動機間に交流リアクトルを挿入する対策を行っていた。本システムでは，通信基準信号とマスタユニットのキャリヤ信号の時間差情報をマスタユニットからスレーブユニットに送信し，スレーブユニットはその情報を基にキャリヤ信号周期の補正を行うことで，各ユニット間のキャリヤ信号の同期化を行った。

3.2　高調波抑制技術

一般的なインバータの入力回路部は，ダイオードによる三相ブリッジ接続方式の整流器となっており，中間回路のコンデンサで平滑してから，出力側のPWMインバータ回路部で可変電圧・可変周波数の交流電圧を得ていることはよく知られている。

この入力回路部の整流・平滑動作により，交流電源に対して低次の高調波電流を発生するので，ガイドラインによる規制が行われるようになってきた。具体的なガイドラインの規制値や計算方法の詳細については，(社)日本電気協会発行の「高調波抑制対策技術指針」（JEAG9702-1995）を参照されたい。

ここでは，変換器自身または電源変圧器を含む範囲で高調波電流を抑制する手法を紹介する。

3.2.1　12パルス整流接続

三相ブリッジ（コンデンサ平滑）方式のインバータが発生する高調波電流の大きさについては，すでに別稿[2]でも詳しく触れているが，$6n \pm 1$（$n = 1, 2, 3, \cdots$）次の成分の高調波電流が発生し，低次になるほど大きな値となっている。この方式では整流された出力のリプルが電源周波数の6倍であることから，別名6パルス整流と呼ばれている。

これに対して，**図５**のように整流回路を二分割し，二次側の結線方式の異なった三巻線変圧器を用いて，30°位相差のある交流電圧を供給すれば，通称12パルス整流と呼ばれる回路が構成される。この回路の左右の高調波電流成分が理想的にバランスした場合は，理論的に変圧器の一次巻線には基本波電流と$12n \pm 1$（$n = 1, 2, 3, \cdots$）次の成分の高調波電流だけが発生し，5，7，17，19次などの成分は完全に除去される。

実際的には，両側巻線のインピーダンスや電圧誤差などにより残留成分が発生する。二次側の電圧が400Vクラスの変圧器に対して，

○電圧誤差が2V以下
○インピーダンスが2.7%以上
○インピーダンスのばらつきが10%以下

とした場合の発生量は，**表２**の値を用いて計算することができる。

また，**図３**(b)の回路に上記と同様の変圧器を適用した場合は，インバータ側で電動機の分割巻線に対して常に同じ大きさのパワーを供給する制御を行うので，電源変圧器の両側巻線から同じ大きさのパワーを消費する動作となり，変圧比の誤差分はキャンセルされる。

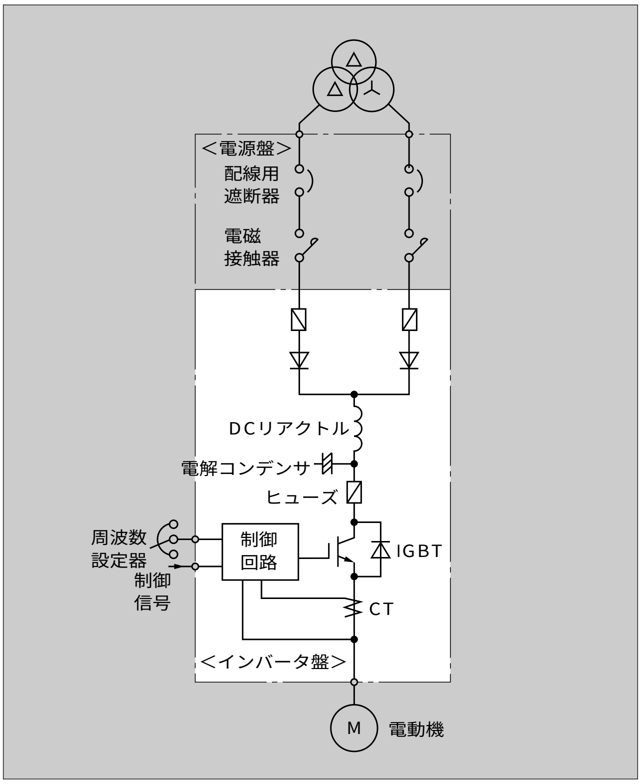
つまり，**図５**の回路方式では変圧器の電圧誤差とインピーダンスが高調波電流の残留成分を決めたのに対して，**図３**(b)の回路に12パルス整流器を適用した場合はインバータ側の制御精度によって残留成分の大きさが決定される動作となる。

表２　12パルス整流方式の高調波電流含有量の例

対象＼次数	5	7	11	13	17	19	23	25
12パルス整流回路	3.4	1.6	7.0	4.0	0.4	0.4	1.4	1.2

（単位：%）

図５　12 パルス整流器付インバータシステム



3.2.2　PWM コンバータ

富士電機では，すでに 5.5 ～ 220 kW の PWM コンバータを市場に供給し，適用事例も増加傾向にあるが，今回，インバータ容量の拡大とともに，PWM コンバータも同容量での対応を可能とした。

図６に PWM コンバータを備えたインバータシステムの構成を示す。ダイオード整流器の代わりに IGBT で三相ブリッジを構成して PWM 制御を行っているため，入力電流を正弦波にし，力率もほぼ 1 に制御できる。このPWM コンバータを適用した場合の入力電流波形および相電圧波形を**図７**に示す。

この PWM コンバータは，単に高調波電流を低減するだけでなく，回生エネルギーを電源側に高効率で回生できるため，クレーン，エレベータなどの昇降装置に適用して，好評を得ている。

4　あとがき

以上，IGBT を使用した大容量電力変換器について紹介した。インバータの適用拡大による大容量化，および近年問題視されている高調波対策についても，最適なシステムの市場への供給など，今後とも市場の要求にこたえた信頼性の高いインバータの製品化を図っていく所存である。

図６　PWM コンバータ付インバータシステム

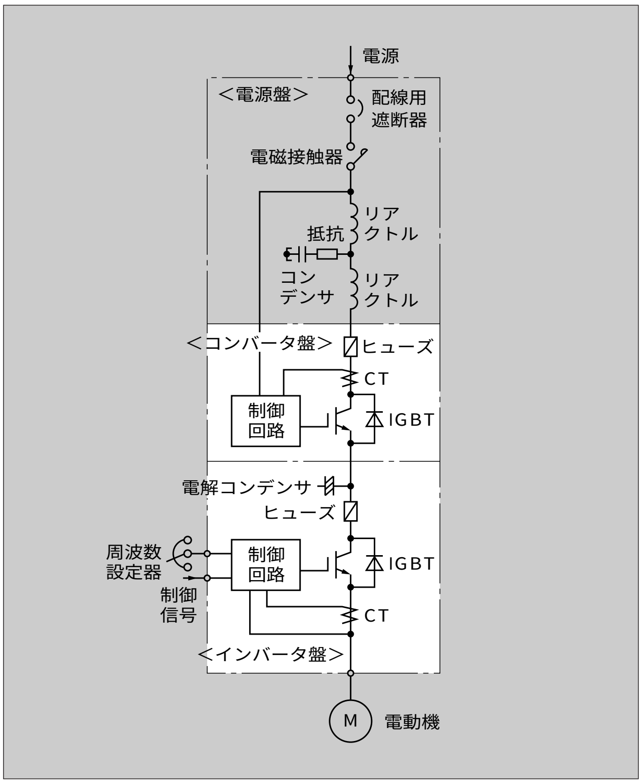
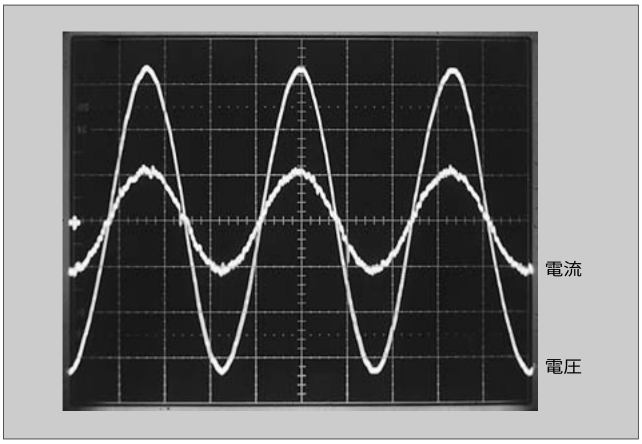


図７　PWM コンバータ入力電流波形



参考文献

(1)　山添勝ほか：高性能汎用インバータ FRENIC5000G9S/P9S，富士時報，Vol.67，No.11，p.593-598（1994）

(2)　鉄谷裕司・田島宏一：高性能ベクトル制御インバータ FRENIC5000VG5，富士時報，Vol.68，No.12，p.670-675（1995）

(3)　川畑志農夫：汎用インバータの発生する高調波とその抑制対策，富士時報，Vol.69，No.12，p.634-636（1996）

工作機械主軸駆動装置 FRENIC5000MS5

田中　良和（たなか　よしかず）　林　寛明（はやし　ひろあき）　高橋　弘（たかはし　ひろし）

1　まえがき

工作機械用の AC スピンドル駆動装置では，一般に高頻度の加減速運転性能，低回転むら，低振動の運転が要求され，またスピンドルの角度割出し制御などの多様な制御機能が要求されている。これまでの富士電機のスピンドル駆動装置としては，主として旋盤系の主軸駆動に適したトルクベクトル制御形の FRENIC5000M3 シリーズと，マシニングセンタにも適用可能な高性能ベクトル制御形の FRENIC5000V3 シリーズとの 2 系列を用意して，市場の要求に対応してきた。

しかし，近年は工作機械自体の省スペース化の要求に伴って，スピンドル駆動装置への一層の小形化要求がある。また，スピンドルの多軸化による複合加工化に対応した同期運転制御などの要求もある。さらに，EC 機械指令に代表される各種の規制への対応などの要求も出てきた。

これらの要求に対応するため，新しく FRENIC5000 MS5 シリーズを開発したのでその概要を述べる。

2　新シリーズの特長

FRENIC5000MS5 シリーズは，工作機械のスピンドル駆動装置として，次の特長を備えている。

2.1　コンバータ部とインバータ部の分離構造

FRENIC5000MS5 シリーズの外観を**図1**に示す。左側がドライブユニット（インバータ回路部）で，表示部と入出力信号用のコネクタが前面に見えている。右側がコンバータユニット（電源整流回路と平滑回路部）である。これらのユニットは横方向に密着して取り付けて，バー配線で主回路の直流母線を接続して使用する方式である。

ドライブユニット部としては，主として旋盤の主軸駆動に適した「FRENIC5000M5 シリーズ」と，マシニングセンタなどに適した高性能ベクトル制御の「FRENIC5000 V5 シリーズ」の 2 系列を用意している。また，コンバータ部についても「発電制動方式コンバータユニット」と「電源回生方式コンバータユニット」の 2 系列を用意して，自由な組合せ適用を可能としている。

図１　FRENIC5000MS5 シリーズの外観

さらに，1 台のコンバータユニットで複数台のドライブユニットの駆動ができるので，メインスピンドルやサブスピンドル，工具軸までを含めた多軸ドライブシステムの構築が容易である。この方式では直流母線を経由して，制動時のエネルギーが他の軸の駆動用に消費されるので，軸ごとにインバータを用意する場合に比較して高効率の運転が行われる特長がある。

2.2　標準で EC 指令対応

ドライブユニット，コンバータユニット，電動機，オプションを含めた全機種について，EC 指令（低電圧指令）対応を標準仕様とし，工作機械の国際化に対応した製品としている。

また，ドライブユニットへの制御入力信号と出力信号は，ユニット本体にあるスイッチの切換によりシンク入力・ソース入力のどちらにも対応可能とし，従来機種との互換性も考慮した製品としている。

田中　良和

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，神戸工場制御設計部課長補佐。

林　寛明

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，神戸工場制御設計部。

高橋　弘

パワーエレクトロニクス制御技術の研究・開発に従事。現在，（株）富士電機総合研究所パワーエレクトロニクス開発研究所駆動システム開発グループ。

2.3　基本性能の改善

FRENIC5000M5 シリーズの制御回路ブロックを**図2**に示す。

高速演算を必要とする PWM 制御とディジタル AVR 制御部分は，新規に開発した大規模ゲートアレイにて制御回路を構成し，トルクベクトル制御は，その他のシーケンス処理，演算処理と合わせてソフトウェア処理を行う制御システムとしている。

この新制御方式の採用により，トルク制限特性の精度が向上し，インパクト負荷に対する応答性および加減速性能を向上させるとともに，回転むらの大幅な低減を図っている。

2.4　小形化

大規模ゲートアレイの開発による制御回路のスリム化と，ヒートパイプ式冷却フィンの採用による冷却体構造の見直しなどで，据付け面積を従来製品に比較して約 60 %に小形化することができた。

さらに全機種について，高さ寸法と取付面までの奥行寸法を統一し，横方向の密着取付けを可能とすることによって，制御盤内でスピンドル駆動装置が占めるスペースを大幅に小さくすることが可能である。

2.5　オプションカードの整理・統合

数種類のオプション機能（同期運転，パルスエンコーダ式オリエンテーション，巻線切換など）の制御機能の一部を主制御プリント基板に取り込んで追加基板の負担を軽くして，従来十数種類あったオプションを 4 種類に統合した。これらは基本的に FRENIC5000M5 シリーズと FRENIC5000V5 シリーズの両方のドライブユニットに共通して適用することができる。

3　運転特性

FRENIC5000MS5 シリーズのうち，先に完成したトルクベクトル制御形 FRENIC5000M5 シリーズの運転特性の代表例について，以下に紹介する。

3.1　トルク制限特性

図3に 11/7.5 kW で測定したトルク制限特性の代表例を示す。全範囲にわたって，120 %の最大トルクが確保されていることが分かる。

3.2　加減速運転特性

図4に加減速運転時のオシログラムを示す。11/7.5 kW の電動機に対して，0.4 kg-m^2 の慣性負荷を結合した場合の運転特性である。

従来の FRENIC5000M3 シリーズに比較して，約 10 %の時間短縮となり，従来のベクトル制御の FRENIC5000V3 シリーズと同等の加減速性能を得ることができた。加速時間，減速時間とも 120 %の最大トルクで計算した理論値を満足している。

3.3　回転むら特性

図5に，7.5/5.5 kW の電動機を単体で運転した場合の回転むらの測定結果を示す。参考のために従来の FRENIC5000M3 シリーズ・ FRENIC5000V3 シリーズのドライブユニットで運転した場合のデータも同時に示しているが，FRENIC5000M3 シリーズに比較して大幅な特性改善が行

図2　FRENIC5000M5 シリーズの制御回路ブロック図

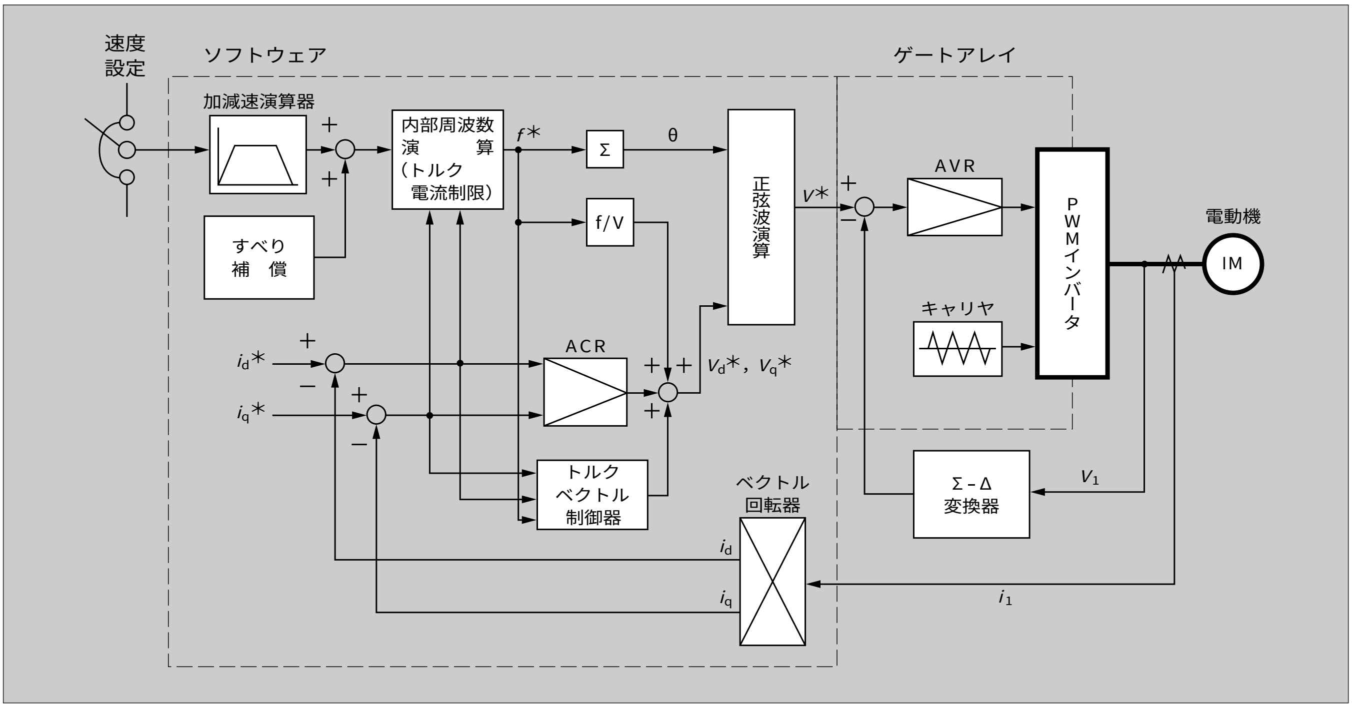


図３　トルク制限特性（11/7.5 kW）

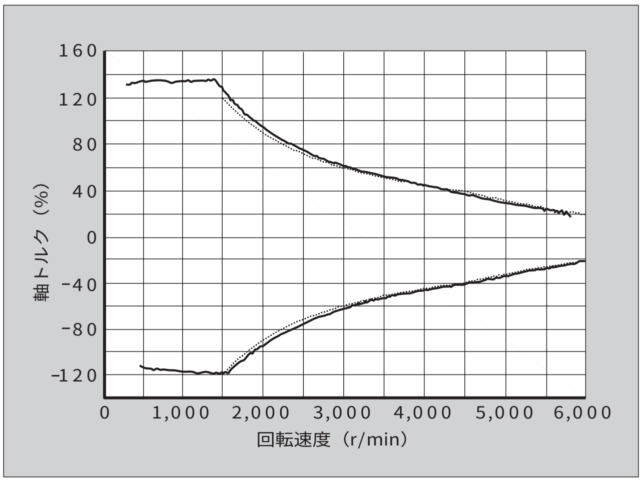
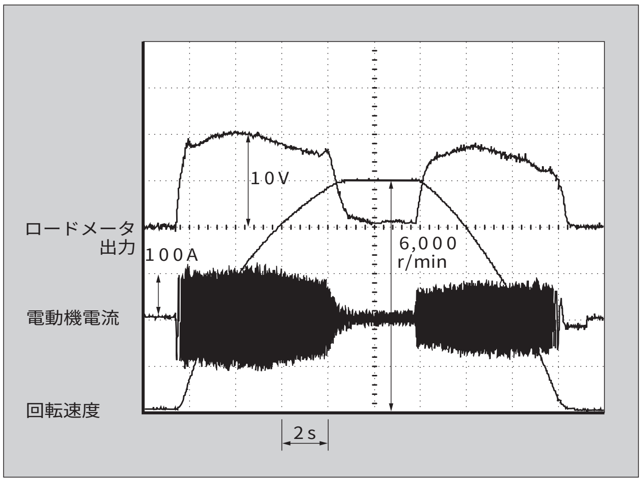


図４　加減速運転特性（11/7.5 kW，負荷イナーシャ 0.4 kg-m2）



われている。

3.4　オリエンテーション制御特性

図６は，高精度多点オリエンテーション制御の動作特性の一例である。0 °の停止状態から 360 °まで 1 回転して割出し制御を行ったときのオシログラムである。完了信号を出力するまでの所要時間は，従来の FRENIC5000M3 シリーズに比較して約 20 %の時間短縮が行われている。

この性能向上のために FRENIC5000MS5 シリーズでは，緩速速度を大幅に高くし，かつ緩速速度から停止目標位置の近傍まで最短時間で減速する速度パターンを発生するアルゴリズムを採用している。

3.5　簡単な設定操作と分かりやすい表示

FRENIC5000MS5 シリーズでは，人に優しい操作性を実現するために，パーソナルコンピュータ（パソコン）の Windows 95〈注〉上で動作するローダ用ソフトウェアを開発した。

〈注〉Windows 95 ：米国 Microsoft Corp. の登録商標

図５　回転むら特性比較（7.5/5.5 kW　電動機単体運転）

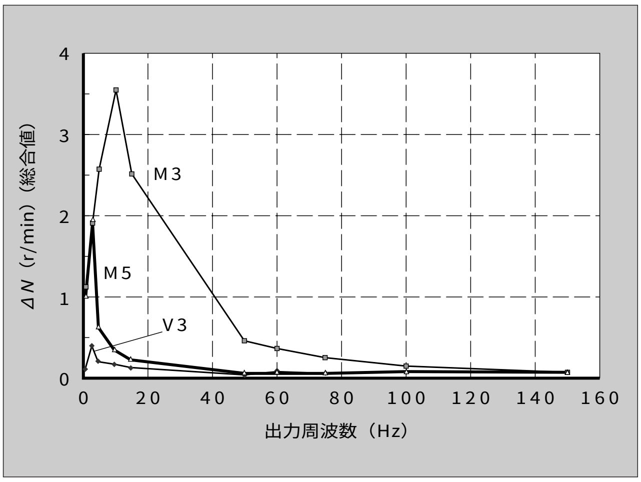


図６　オリエンテーション制御特性

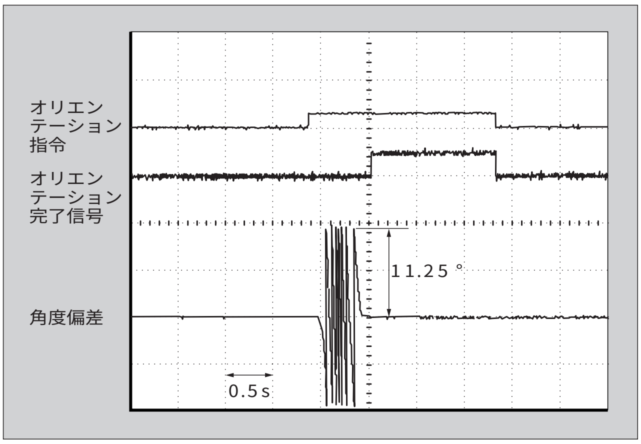
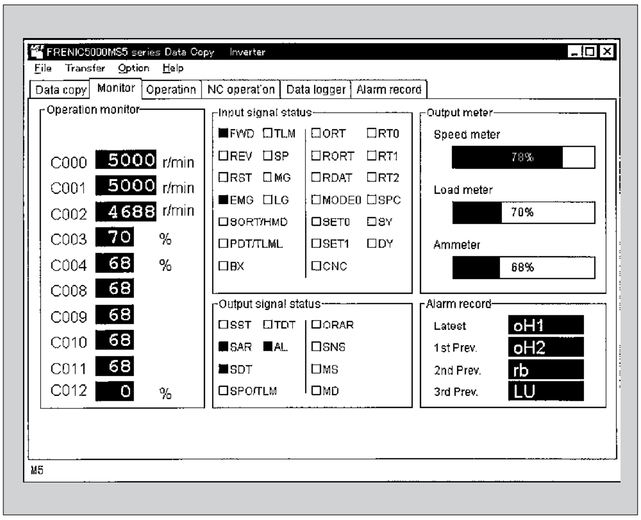


図７　モニタリング表示画面の例



このローダ用ソフトウェアでは，機械の機種などに応じてあらかじめ用意した標準設定値を一括して設定する機能，他の機械の設定値を読み出してコピー設定する機能，各種の運転状態をモニタする機能のほかに，ローダ側の設定操作でドライブユニットのテスト運転ができるオペレーション機能などを備えており，機械のセットアップや現地調整

をより簡単に行えるように考慮している。

パソコン操作時の画面表示の一例として，**図 7** にモニタ動作の場合の表示画面を示す。この例では，一番左側の欄（Operation monitor）は電動機や主軸の回転速度などを示し，中央上（Input signal status）はディジタル入力信号の有無，中央下（Output signal status）はディジタル出力信号の有無，右側上（Output meter）はアナログ出力信号の大きさ，右側下（Alarm record）は過去 4 回のトリップ履歴を表示している。

4　あとがき

以上，スピンドル駆動装置 FRENIC5000MS5 シリーズ，およびそのオプションについて概要を紹介した。本シリーズはドライブユニットとコンバータユニットを分離した構造とすることなどで，工作機械に対し幅広く対応できる製品としているが，今後も適用範囲を広げるため，製品系列の整備，またシステムの充実を図った製品開発を行い，さらに進化・発展していく工作機械に対し，スピンドル駆動装置として，十分な機能・性能を備えた製品群となるよう，一層の努力をしていく所存である。

参考文献

(1)　田中良和・細木俊猪： AC スピンドル駆動装置 FRENIC 5000M3，富士時報，Vol.67，No.11，p.608-611（1994）

技術論文社外公表一覧

標　　題	所　属	氏　名	発　表　機　関
改良型 Dual Gate-BRT の SOA に関する研究	富士電機総合研究所	山﨑　智幸	電気学会電子デバイス・半導体電力変換合同研究会（1997–9）
1200V MCCT の試作・評価	富士電機総合研究所 〃 〃 〃	原田　祐一 岩室　憲幸 岩穴　忠義 関　康和	
高品位フォトンの研究	富士電機総合研究所 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃 〃	丸田　一臣 岩井　弘美 杉山　修一 高尾　宣行 昆野　康二 出野　裕 佐藤　賢 中島　昌俊 相楽　広 大沢　通夫 植田　厚	先進機能創出加工技術研究組合（1997–10）
ウェット冷却による酸化膜を用いた 6H-SiC MOSFET の特性	富士電機総合研究所	上野　勝典	応用物理学会秋季講演会（1997–10）
Nedelec 要素を用いた三次元渦電流計算	富士ファコム制御	池口　修一	日本応用数理学会 1997 年度年会（1997–10）
Nedelec 要素を用いた三次元渦電流解析	富士ファコム制御	池口　修一	日本機械学会本会創立 100 周年・九州支部創立 50 周年記念講演会（1997–10）
電磁式接点開閉機器におけるバウンス現象の解析	富士電機総合研究所 〃 吹上工場	鈴木　健司 横山　勝治 広田　耕人	平成 9 年神奈川県産学公交流研究発表会（1997–10）
MCS を用いた光源の逆探知計算に関する基礎検討(2)	富士電機総合研究所 〃	甲斐　慎一 森田　公	電気学会平成 9 年四国支部大会（1997–10）
イオン交換樹脂のプラズマ灰化処理	原子力・環境事業部 〃	山本　孝 片桐　源一	平成 9 年度火力原子力発電大会（1997–10）
オゾン処理基材と細胞との相互作用についての研究	富士電機総合研究所	清水　康次	第 28 回中部化学関係学協会支部連合秋季大会（1997–10）
平板型 SOFC における溶射法の適用	富士電機総合研究所 〃 〃	竹野入俊司 角川　功明 小関　和雄	第 38 回電池討論会（1997–11）
低圧電動機絶縁のインバータサージの影響	富士電機総合研究所 〃	芳賀　弘二 奥山　吉彦	電気学会誘電・絶縁材料研究会（1997–11）
プリント基板絶縁層内部の空間電荷の観測	富士電機総合研究所 〃	岡本　健次 芳賀　弘二	

新形サーボシステム FALDIC−II

新美　務（にいみ　つとむ）　篠田　誠司（しのだ　せいじ）　遠藤　実（えんどう　みのる）

1　まえがき

各種産業機械分野の自動化・省力化を支えるサーボシステムは1990年代から制御のディジタル化が進行し，あわせて高機能化が進み，上位システムとのインタフェースを備えるなど新しいニーズに対応してきた。

富士電機では，プログラマブルなPTP（Point To Point）の位置決め制御に特長を持つ位置制御形サーボアンプ「FALDICシリーズ」を1991年に発売し，数多くの適用実績を重ねてきた。その適用拡大に伴い適用システムにフレキシブルに対応するための機能・性能の充実や，サーボアンプの小形化などの要求が強くなってきた。

これらの要求に柔軟にこたえるため，電動機の多様化，用途に応じたシリーズ整備，ならびに上位コントローラとのインタフェースの充実・強化を図り，サーボアンプの小形，省スペース化を狙った新形サーボシステム「FALDIC-II」を開発した。

以下，本シリーズの仕様，特長，回路構成，および適用用途例について紹介する。

2　仕様と特長

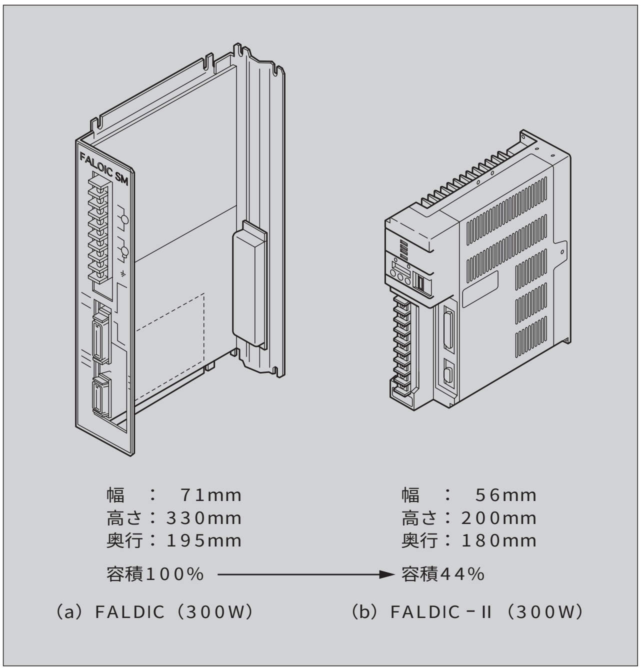
図1に本シリーズの外観を示す。**表1**は，適用電動機の機種バリエーション拡大の様子を示したものである。機械仕様に従い，低慣性から高慣性電動機まで任意に選択可能である。**図2**に従来シリーズとの容積比較を示す。従来機種と比べて容積で約1/2以下に小形化している。**表2**にFALDIC-IIの仕様を示す。速度制御用途のVタイプ機種

図1　FALDIC-IIの外観

表1　適用電動機の機種バリエーションの拡大

サーボアンプシリーズ	適用電動機シリーズ	電動機出力範囲（kW）　0.1　1　10
FALDIC	GRH	0.3　2.7　6機種
FALDIC-II	GRH（中慣性）	0.3　2.7　6機種
	GRS（低慣性）	0.05　0.8　5機種
	GRK（高慣性）	0.05　3.7　9機種

図2　サーボアンプの小形化



新美　務

サーボシステムの開発設計に従事。現在，三重工場サーボシステム部。

篠田　誠司

サーボシステムの開発設計に従事。現在，三重工場サーボシステム部。

遠藤　実

サーボシステムの開発設計に従事。現在，三重工場サーボシステム部。

を追加するとともに，各種インタフェースの強化を行った。

(1)　電動機の機種バリエーションの充実

従来シリーズは，中慣性電動機「GRH タイプ」に対応してきた。

FALDIC-Ⅱでは，さらに機能強化を図り，低慣性電動機「GRS タイプ」と高慣性電動機「GRK タイプ」を加え，3 タイプの電動機に対応できるようにした。

(2)　サーボアンプの小形化

各部回路ブロックの徹底したモジュール化・高集積化により，従来シリーズ容積の 44 %（300 W 比較）を実現した。

(3)　用途に応じたシリーズの充実・強化

FALDIC-Ⅱは，多様化するユーザーの要求にこたえるべく，三つの異なる機種を用意した。

L タイプは，従来の FALDIC シリーズの機種を継承した一軸の直線位置決め制御用途を狙ったものであり，PTP の位置決め制御をベースとし，オーバライド機能や，割込み位置決めなどの多彩な機能も任意に選択可能とした。

R タイプは，ATC（Automatic Tool Changer）やインデックステーブルなどの回転体の割出し用途を狙って系列化したものである。あらかじめ回転体の分割数（最大 399）とトータル減速比を設定しておくことにより，割出し制御を容易に行うことができる。

V タイプは，アナログマルチチャネルへの対応を考慮し，アナログ指令電圧による速度制御機能，トルク制御機能を基本機能とし，さらにパルス列指令，原点復帰，割込み位置決めなどの機能の強化を行った。

これらの機種を用意することにより，市場要求の高度化，多様化にこたえた。

表２　FALDIC-Ⅱの仕様

サーボアンプの形式			RYG□□□○○-L△	RYG□□□○○-R△	RYG□□□○○-V△
			直線位置決め用途	回転割出し用途	速度制御用途
入力電源		電圧	200/200-220-230V　＋10～－15%		
入力電源		周波数	50/60Hz　±5%		
制御仕様		制御方式	正弦波PWM電流制御（可逆）		
制御仕様		キャリヤ	10kHz（一部容量にて3kHz）		
制御仕様		フィードバック	2,000（pulse/rev）ラインドライバ/1,000（pulse/rev）オープンコレクタ		
制御仕様		速度制御精度	GRHモータ＝±0.05%，GRSモータ＝±0.05%，GRKモータ＝±0.1%（最高回転速度時）		
制御仕様		速度制御範囲	GRHモータ＝1：2,000，GRSモータ＝1：2,000，GRKモータ＝1：1,000		
制御仕様		応答周波数	GRHモータ＝100Hz，GRSモータ＝100Hz，GRKモータ＝50Hz（$J_L=L_M$のとき）		
制御仕様		適用慣性モーメント	電動機本体の5倍以下（位置制御時），電動機本体の10倍以下（速度制御時）		
制御仕様		過負荷耐量	GRHモータ＝300%/3s，GRSモータ＝450%/1.5s，GRKモータ＝150%/60s		
適用運転		PTP位置決め	○	○（回転割出し，近回り制御あり）	－
適用運転		原点復帰	○	○	○
適用運転		割込み	○	－	○
適用運転		パルス列	○	○	○
適用運転		速度制御	○	○	○
適用運転		トルク制御	－	－	○（アナログ電圧入力指令）
適用運転		トルク制限	○（パラメータ設定）	○（パラメータ設定）	○ （パラメータ設定またはアナログ電圧入力指令）
インタフェース	入力	接点	21点（Tリンク版は拡張可能）		8点（Tリンク版は拡張可能）
インタフェース	入力	アナログ指令	1チャネル（Tリンク版はリンク上からBCD入力）		4チャネル （Tリンク版はリンク上からBCD入力）
インタフェース	入力	パルス列	一組（オープンコレクタ信号を入力）		一組 （オープンコレクタ/ラインドライバ両方可能）
インタフェース	出力	接点	14点（Tリンク版は拡張可能）		6点（Tリンク版は拡張可能）
インタフェース	出力	アナログモニタ	2チャネル		
インタフェース	出力	分周出力	一組（オープンコレクタ出力）		一組 （オープンコレクタ/ラインドライバ両方可能）
付属機能		制動	回生制動		
付属機能		保護	過負荷，エンコーダ異常など全10種類（表示）		
付属機能		本体表示	POWER：電源あり（緑），ERROR：エラー表示（赤），ALARM検出内容（赤4個）		
付属機能		本体設定	8ビットディップスイッチ（Tリンク局番設定用）		
環境		温度，湿度	－10～＋55℃，10～90%RH（結露なきこと）		
環境		使用場所，標高	屋内，清浄雰囲気，標高1,000m以下		

3　回路構成

図3に FALDIC-Ⅱのアンプ内部ブロック図を示す。多種類の入出力様式に柔軟に対応できるよう，各部回路ブロックをモジュール構成とした。

(1)　制御ブロック

1チップ CPU および専用 LSI を中心に高密度に集積化し，サーボ制御全般，周辺モジュールとのインタフェース，さらに専用ローダとの通信処理などを行っている。

各種 I/O カードブロックとエンコーダ I/O ブロックの任意の組合せに対応するため，1チップ CPU の各種演算処理能力を強化した。

(2)　I/O カードブロック

I/O カードブロックとして**図3**に示す汎用入出力の多チャネル化，シリアル通信（T リンク），あるいはアナログ入力の多チャネル化への対応を考慮した 3 種のカードを用意し，上位システムとのインタフェースの充実・強化を行った。また，将来的に高速シリアル通信などへのインタフェースの拡大が可能な構成とした。

(3)　エンコーダ I/O ブロック

電動機のエンコーダ信号（2,000 パルス/rev ラインドライバ信号や 1,000 パルス/rev オープンコレクタ信号）に対応できるとともに，エンコーダとのインタフェース信号の省配線化への対応も考慮している。

4　適用例

(1)　L タイプを用いた搬送用途への応用

図4に FALDIC-Ⅱの L タイプを搬送用途へ適用した例を示す。搬送間隔が一定していない部品を，常に決まった位置で停止させて，次加工に入る。このシステムは「割込み位置決め運転」で容易に構成することができる。「割込み位置決め運転」とは，サーボアンプに割込み信号（**図4**中では光電管スイッチの出力に相当）を入力し，その信号の入力時点から指定の移動量（パラメータ設定）を移動して停止する。

(2)　R タイプを用いた工作機械周辺用途への応用

図5に FALDIC-Ⅱの R タイプを工作機械へ適用した例を示す。R タイプは，ATC やインデックステーブルなどの回転体割出しを主な用途としている。今回，R タイプが有している，運転中でも位置決め制御と速度制御の切換ができる機能を使用した例である。まず位置決め制御でタレットを回転させ，ツールを所定の位置まで移動させる。次にクラッチを切り放し，速度制御運転でツールだけを回転させワークの加工を行う。こうすることにより，工作機械周辺（タレット）とツール軸を一組のサーボシステムで駆動することができる。

(3)　V タイプを用いた低推力リフタへの応用

図4　L タイプの応用例とタイミングチャート

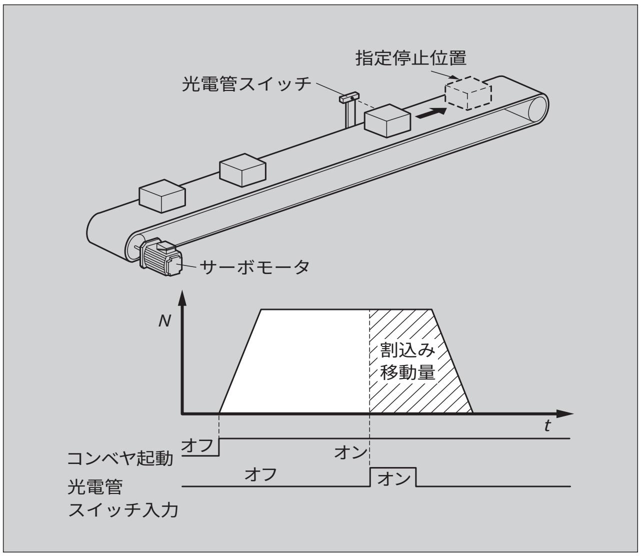


図3　FALDIC-Ⅱの内部ブロック図

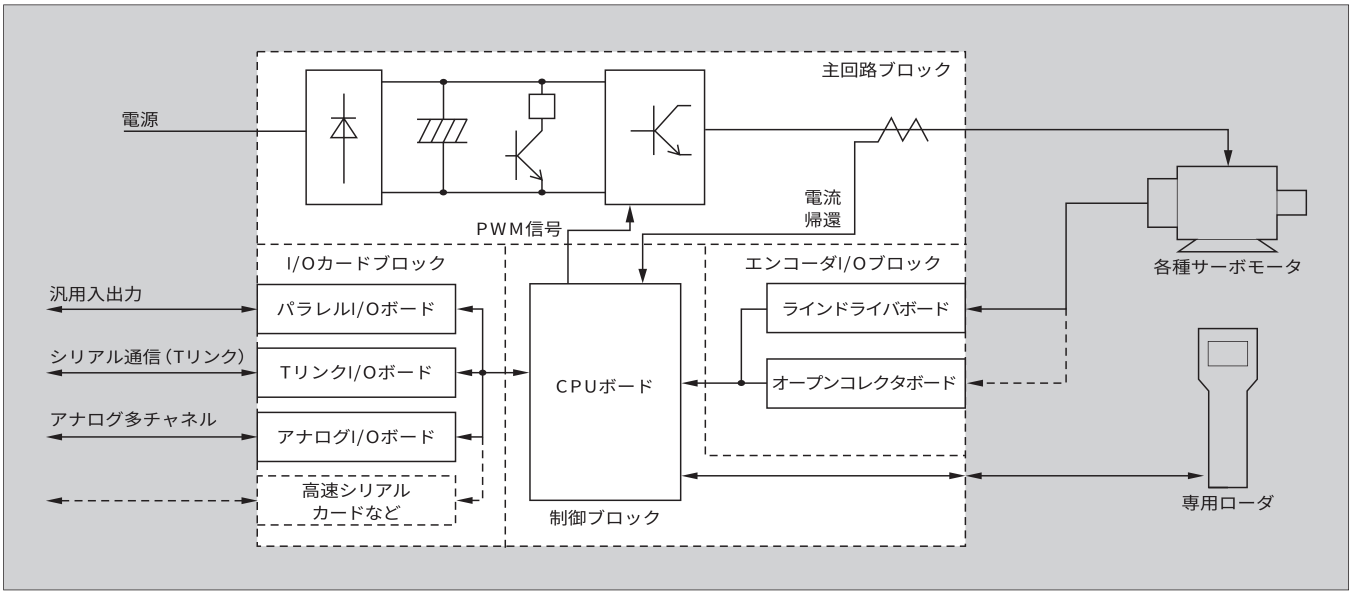


図５　R タイプの応用例とタイミングチャート

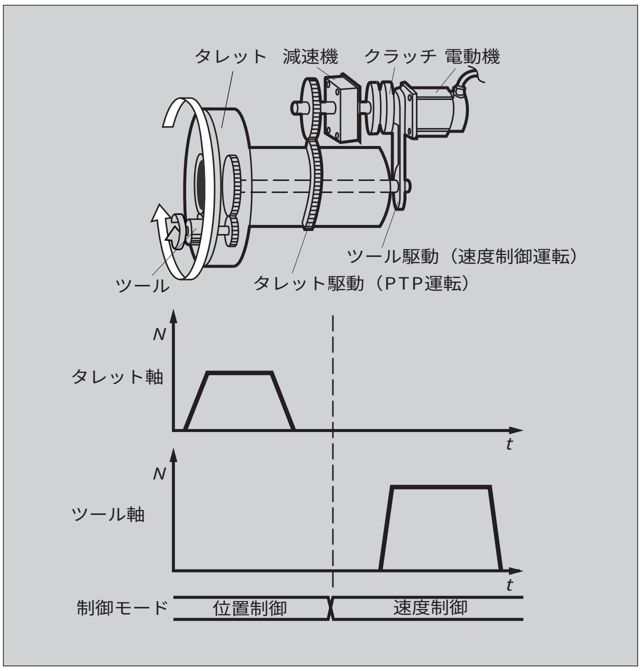


図６　V タイプの応用例

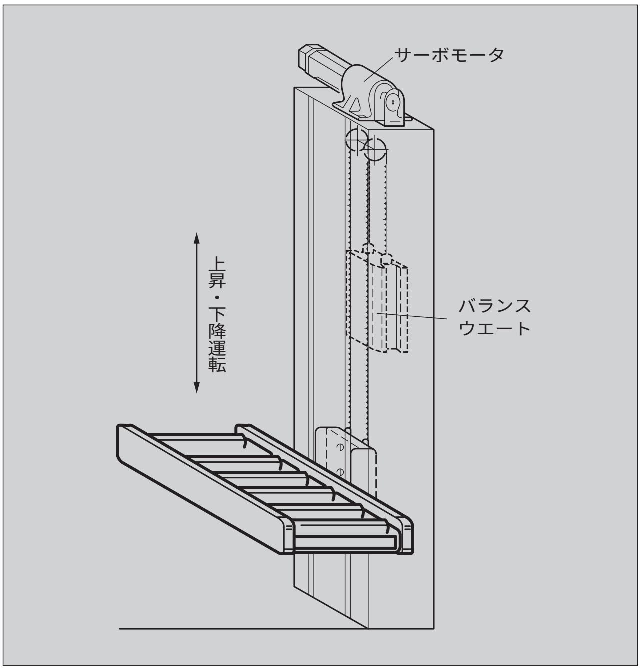


表３　Vタイプのアナログ指令入力設定一覧

パラメータ設定値	VIN1端子	VIN2端子	VIN3端子	VIN4端子
0	速度指令電圧	速度指令電圧補助	−	−
1	速度指令電圧	速度指令電圧補助	トルク制限電圧（力行側）	トルク制限電圧（回生側）
2	速度指令電圧	速度指令電圧補助	−	トルク指令電圧
3	速度指令電圧	速度指令電圧補助	トルク制限電圧（力行/回生側）	トルク指令電圧
4	トルク指令電圧	トルク指令電圧補助	−	−
5	トルク指令電圧	トルク指令電圧補助	トルク制限電圧（力行側）	トルク制限電圧（回生側）

図６は FALDIC-Ⅱの V タイプを低推力リフタへ適用した例である。低推力リフタは，リフタの上昇・下降時，また荷物の有無の条件により推力を細かく制御することによって，安全性の向上を図ることを目的にしている。V タイプの特長の一つである 4 チャネルのアナログ指令入力を利用し，**表３**に示す機能を選択できるようにした。これによりリフタの上昇・下降に応じて駆動，制動の各モード別にトルク制限が可能となり，目的とするリフタの細やかな推力制御が実現できた。

5　あとがき

以上，FALDIC-Ⅱについてその概要を述べた。電動機の機種バリエーションの充実や上位システムとのインタフェースの強化などにより，ますます多様化する市場の要望にこたえることができたと考えている。

今後は，さらに高度化，要求の多様化にこたえるとともに，人に優しい機能の強化を行う予定である。例えばマンマシンインタフェースの機能強化や機械のセットアップ時間の短縮を狙う診断機能の搭載など，ユーザーフレンドリーなシステム作りを一層推進する所存である。

電子カムモジュール

相田　忠勝（あいだ　ただかつ）　斉藤　豊（さいとう　ゆたか）　丸林　雅美（まるばやし　まさみ）

1　まえがき

プログラマブルコントローラ（PLC）は，各種機械のコントローラとして，広く浸透している。PLC 自体は，機械制御をするための頭脳である。実際に機械を動かすためには，電動機などの各種アクチュエータ類が必要であり，PLC 以外に専用の制御装置を必要とするものもある。特に高精度位置決めを行うサーボモータについては，PLC から直接制御するのは難しく，専用位置決め装置と組み合わせて使用する場合が多かった。一般産業機械の分野においては，コスト，操作性などの面から PLC への位置決め機能の取込みの要求が強くなる一方，CPU の高速化によってそれが実現可能になってきた。

本稿では，こうした背景のもとに製品化した MICREX-F70用電子カムモジュール（形式：NC1F-EC1）について，その概要を述べる。

2　システム構成

図１に電子カムモジュールを使用したシステム構成を示す。このモジュールは，サーボシステムとの組合せにより，機械カム機構と同様の動作を実現するものであり，主軸パルス（加工材の搬送速度）に同期して，設定されたカムパターンに従い，カム軸パルス（加工部）を出力するものである。

3　基本仕様

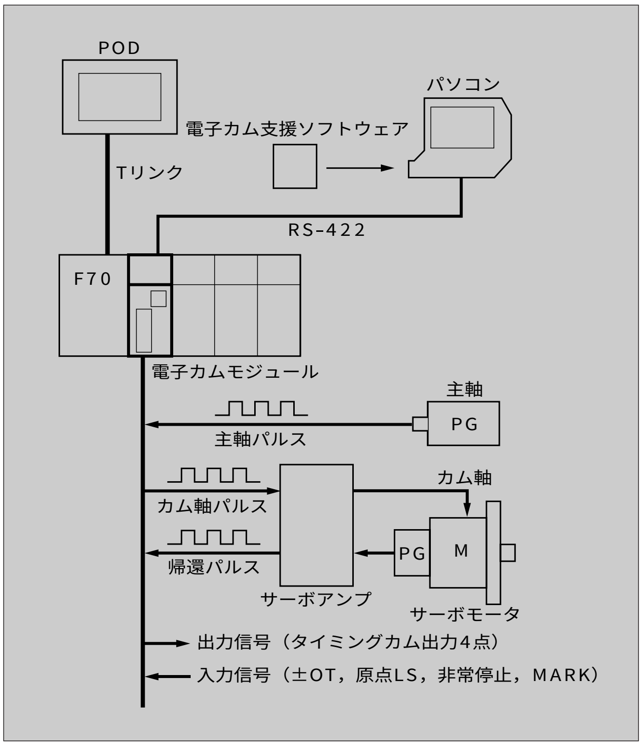
表１に電子カムモジュールの基本仕様を示す。寸法は MICREX-F70 の１スロット分に相当し，従来機種に比べて大幅な小形化を図った。

4　特　長

電子カムモジュールの主な特長は次のとおりである。

(1)　ローダレス仕様

図１　電子カムモジュールのシステム構成



専用ローダを使わなくても，パラメータ設定，カムパターンの自動作成をはじめ，すべての機能が PLC からのシーケンス命令により設定可能である。また，パーソナルコンピュータ（パソコン）用の電子カム支援ソフトウェア（形式： NL4N-98EC3D）も用意されており，カムパターンの作成，カムパターンのグラフィック表示などが可能である。

(2)　カムパターンの自動作成

カットピッチ，同期幅などのパラメータを基として，カムパターンを自動作成する。カムパターンは最大９個（EEPROM × 8，SRAM × 1）の登録が可能である。機械式カムに見られる段取り替えの煩わしさも，これにより解消される。

(3)　運転動作

相田　忠勝

サーボシステム用の汎用・専用位置決め装置の開発設計に従事。現在，機器事業本部機器制御事業部PLC 開発部主査。

斉藤　豊

プログラマブルコントローラの開発設計に従事。現在，吹上工場電子設計部。

丸林　雅美

プログラマブルコントローラ関連のエンジニアリング業務，アプリケーションソフトウェアの設計に従事。現在，吹上工場技術部。

表１　電子カムモジュールの基本仕様

項　目		仕　様
占有スロット		1スロット
占有ワード数		12ワード（入力4ワード，出力8ワード）
制御軸数		1軸
制御方式		オープンループ制御
主軸入力パルス	入力信号方式	90°位相差2相パルス（オープンコレクタ）
	最大入力周波数	500 kHz（1てい倍，50%デューティ）
カム軸出力パルス	出力信号方式	正転パルス＋逆転パルス（オープンコレクタ）
	最大出力周波数	250 kHz
帰還入力パルス	入力信号方式	90°位相差2相パルス（オープンコレクタ）
	最大入力周波数	500 kHz（1てい倍，50%デューティ）
カム軸指令最大位置データ		±79,999,999（単位設定量）
パラメータ		バックラッシ補正，主軸パルス補正α・β，カム軸パルス補正α・β ほか
カムパターン	パターン自動作成	位置・増分値データからの作成 パラメータ（機械定数，運転定数）からの作成 ○フライングシヤー　○ロータリシヤー（間欠運転）　○ロータリシヤー（連続運転） ○フライングカッタ（往復運転）　○フライングカッタ（回転・間欠運転）　○フライングカッタ（回転・連続運転） ○比率同期運転
	近似演算	3種類（直線，S字，sin）
	パターン登録	最大9個（EEPROM×8，SRAM×1）
タイミングカム出力		8点（モジュールからの直接出力4点）
制御入力信号		5点（非常停止，±OT，原点LS，MARK）
運転機能		手動正転・逆転，原点復帰，即値位置決め 自動運転（標準カムモード，走行切断モード），カムパターン直接継続・間接継続運転

原点復帰，手動運転，即値位置決めの 3 種類の基本動作のほか，標準カム動作，走行切断動作，複数カムパターンの継続運転などのカムパターン動作があり，多種多様な運転に対応可能である。

5　PLC とのインタフェース信号

表 2 に電子カムモジュールと PLC とのインタフェース信号を示す。インタフェース信号のやり取りは，PLC の入出力領域（WB 領域）の 12 ワードを使用して行う。パラメータの設定，読出し，カムパターンの自動作成，カムパターンデータの読出し，主軸現在位置，カム軸現在値のモニタなどの機能を，シーケンス命令により実現できるように工夫した。

(1)　実測値 1，2

「実測値 1，2」は主軸現在位置，カム軸現在値などを PLC 側へ出力する領域である。出力データは「設定値 5」に設定される読出しデータ番号により選定する。

(2)　設定値 1，2

「設定値 1, 2」はパラメータ設定値，カムパターンデータなどの PLC からの書込みデータを設定する。設定データ種類は次のとおりである。

○即値位置決めでの位置データ
○定位置復帰での位置データ
○パラメータ設定値
○カムパターンデータ（カム軸位置データ）
○ワーク座標プリセット値
○主軸パルス数プリセット値
など

(3)　設定値 3，4

「設定値 3，4」はパラメータ番号，主軸角度などのデータ設定に使用する。設定データの種類は次のとおりである。

○即値位置決めでの速度データ
○定位置復帰での速度データ
○パラメータ番号
○主軸角度
○手動運転速度
○原点復帰速度
○主軸サイクル回数プリセット値

表 3 に書込みデータ番号の一例を示す。

(4)　設定値 5

「設定値 5」は，「実測値 1，2」の出力データを選定する領域である。**表 4** に読出しデータ番号の一例を示す。

6　カムパターンの自動作成

機械定数からのカムパターン作成は，次に示す 7 とおりの機構，用途に対応している。

○フライングシヤー
○ロータリシヤー（間欠運転）
○ロータリシヤー（連続運転）
○フライングカッタ（往復運転）
○フライングカッタ（回転・間欠運転）
○フライングカッタ（回転・連続運転）

○比率同期運転

カムパターン演算用の機械定数は，パラメータに割り振られており，シーケンス命令によりカムパターンを作成する。**表５**に各動作共通の機械定数データを示す。また，**図２**にそのシステム構成例を示す（**図２**のなかの記号は**表５**を参照いただきたい）。

表６にロータリシヤー（連続運転）のカムパターン作成のために使用される運転定数データを示す。また，これを基に作成されたロータリシヤー（連続運転）に対するカムパターンを**図３**に示す。

表２　PLCとのインタフェース信号

アドレス（WB）	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F
データ出力																
+0	実測値1															
+1	実測値2															
ビット出力																
+0	±ソフトウェアOT異常，パラメータ計算異常，指令データ異常，異常パラメータ番号															
+1	カット長設定異常，マークピッチ異常，継続データ異常															
+2	データ読出し応答，書込み完了応答，書込みデータ異常，マーク検出異常，自動運転データ異常，偏差オーバ，速度オーバ中，マーク割込み入力，原点LS入力，非常停止異常，±ハードウェアOT異常 など															
+3	サイクル停止中，原点復帰完了，タイミングカム出力状態，RDY，ニアゼロ，自動運転中，ビジー，パルス出力中，同期動作中															
ビット入力																
+4	データ読出し指令，データ書込み指令，カム軸データ有効，タイミングカムデータ有効 など															
+5	位置決めキャンセル，サイクル停止指令，定位置復帰指令，原点復帰指令，手動正転・逆転指令，自動運転指令，非常停止指令，アラームリセット，即値位置決め指令，現在位置リセット など															
+6	偏差量リセット，微調補正指令，マーク異常クリア，起動方法選択，再起動方法選択，マーク有無選択，定位置復帰動作の座標選択，自動運転モード選択，プログラム番号選択															
データ入力																
+7	設定値1															
+8	設定値2															
+9	設定値3															
+10	設定値4															
+11	設定値5															

表３　書込みデータ番号

番　号	データ
1,000～1,255	パラメータ番号の指定 1,000～1,255がパラメータ番号 0～255に対応
2,000～2,359	主軸角度（カム軸位置，タイミングカムデータ） 2,000～2,359が主軸角度 0 °～359 °に対応

表４　読出しデータ番号（一例）

番　号	データ
0	カム軸座標現在位置（ワーク座標系の指令値）
≀	≀
21	主軸座標現在位置（サイクル開始からの位置）
≀	≀
1,000～1,255	パラメータ登録値 1,000～1,255がパラメータ番号0～255に対応
2,000～2,359	カム軸位置データ登録値 2,000～2,359が主軸角度 0 °～359 °に対応
3,000～3,359	タイミングカムデータ登録値 3,000～3,359が主軸角度 0 °～359 °に対応

図２　共通の機械定数データのシステム構成例

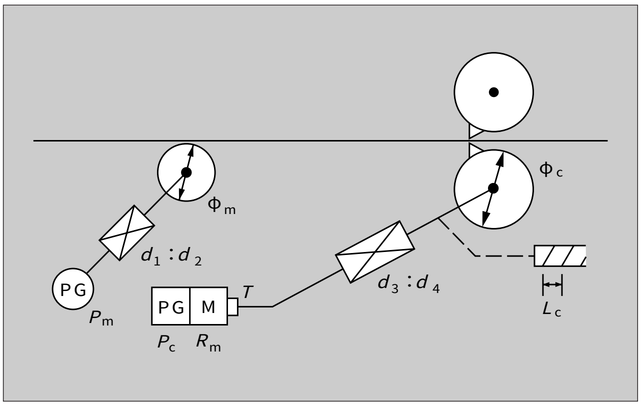


表５　共通の機械定数データ

パラメータ番号	記　号	内　容	単　位
62	ϕ_m	主軸側ダイヤ径	設定単位
63	d_1	主軸側減速比1（ローラ側）	－
64	d_2	主軸側減速比2（PG側）	－
65	P_m	主軸側PGパルス数	パルス/rev
68	ϕ_c/L_c	カム軸側ダイヤ径/ピッチ	設定単位
69	d_3	カム軸側減速比1（ローラ側）	－
70	d_4	カム軸側減速比2（PG側）	－
71	P_c	カム軸側PGパルス数	パルス/rev
72	R_m	カム軸側電動機最高回転速度	r/min
73	T	カム軸側PGのてい倍選択	－

表６　ロータリシヤー（連続運転）の運転定数データ

パラメータ番号	記　号	内　容	単　位
10	α	カム軸側指令パルス補正A	－
11	β	カム軸側指令パルス補正B	－
80	N	カット個数最大値	個/分
81	L_{CT}	カットピッチ	設定単位
83	L_W	同期幅	0.1 °
84	K	カッタの歯数	個
85	S	カム軸ローラ待機角度	0.1 °
88	T_{ud}	加減速時間	ms

図３　ロータリシヤー（連続運転）のカムパターン

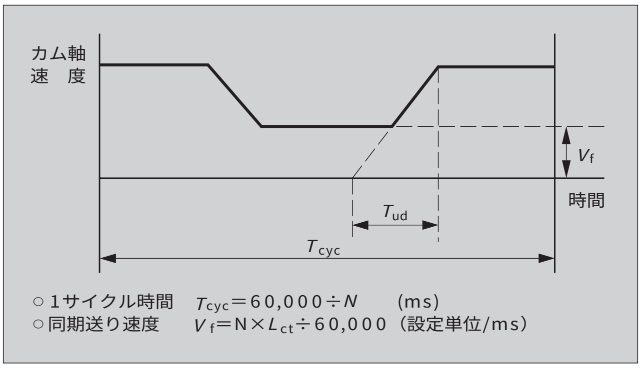
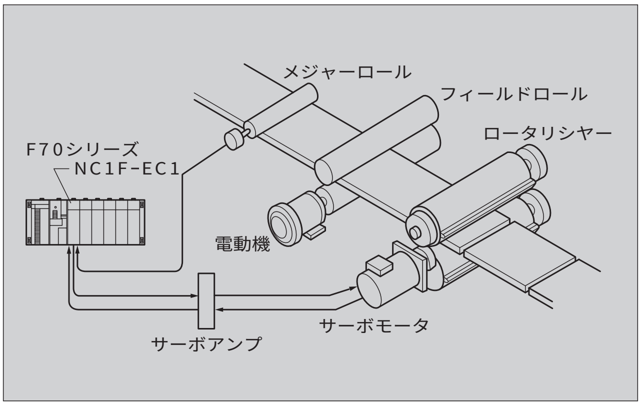


図４　ロータリシヤー（連続運転）の適用例



7　適用例

(1)　ロータリシヤー（連続運転）への適用例

図４にロータリシヤー（連続運転）の適用例を示す。

ロータリシヤー（連続運転）では，円筒状の加工部（カッタまたはプレス）を連続回転させて材料を切断する。切断中（カッタが材料に接している間）は，カッタの周速を材料の送り速度に同期させる。用途としては，包装機械，フィルム製造などに適している。

図４にて，メジャーロールを主軸として材料送り速度を検出し，カムパターンに従い，カム軸であるロータリシヤーを動作させる。温度などによる材料の伸縮については，加工材のマークをセンサ信号により認識し，カット長の自動補正を行うことにより，高精度の切断が可能となる。

(2)　フライングシヤーへの適用例

図５にフライングシヤーの適用例を示す。また，**図６**にフライングシヤーのカムパターンを示す。

図５　フライングシヤーの適用例

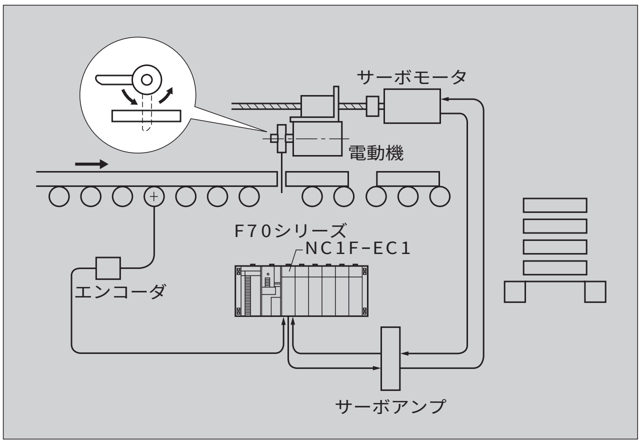
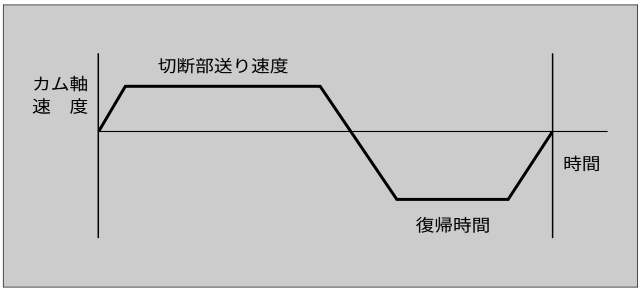


図６　フライングシヤーのカムパターン



フライングシヤーでは，切断部を材料の送り方向に往復動作させて材料を切断する。切断中は，切断部の送り速度と材料送り速度を同期させる。用途としては，金属加工機械，かわら製造機械，塗装機械などに適している。

8　あとがき

MICREX-F70 用電子カムモジュールの概要について述べた。汎用 PLC の分野では，CPU モジュールの高速化，高機能化のスピードが著しく，それに合わせて搭載される位置決めモジュールの機能・性能も大幅に向上した。このため，従来，専用コントローラが用いられていたモーションコントロール分野へ，本 PLC のシステムの適用が拡大するものと確信する。

これらの状況を踏まえ，さらに各種機能モジュールを充実させることにより，今後一層強まるものと予想される各種機械の自動化，高速化，高精度化の要求にこたえていく所存である。

富士時報　Vol.70 No.12 1997

インバータ・サーボシステムの適用例

島田　喜秋（しまだ　よしあき）　　井田　貴士（いだ　たかし）

1　まえがき

インバータ・サーボシステムにおける技術開発の速度はめざましく，小形，高精度，高速応答，多機能な可変速駆動装置に発展している。その結果，従来の機械式駆動も柔軟性，拡張性の点で有利なインバータ，サーボを応用した電気式駆動への置換えが進んでいる。また，従来，専用コントローラが適用されていたモーションコントロール分野では，汎用コントローラの高機能化に伴い，その適用範囲が拡大し，またパーソナルコンピュータ（パソコン）の機械制御コントローラ分野への応用が行われるようになっている。

パソコンの機械制御への応用も，現在実用化のレベルに入っており，ユーザーサイドにおける自由なシステム構築という点でユーザーの期待も非常に大きい。

本稿では，電気式への置換えの例として延糸機，トランスファマシンへの適用例，汎用コントローラの高機能化の例として半導体加工機への適用例，電子カムの応用例として包装機への適用例を述べる。また，パソコン応用の例として，タイヤ製造機への適用例を紹介する。

2　延糸機への適用

ベクトル制御形インバータの延糸機への適用例を紹介する。

延糸機は，粗糸を所要の糸番手まで延糸して単糸を形成している。延糸は，糸を送る複数ロールの速度に差をつけて糸に引張力を与えて行っている。

従来のシステムでは，この速度比率を歯車の組合せによって決定しており，変速比の変更には歯車を交換する必要があった。このため，糸材の変更時には歯車の交換に多大な時間を要し，生産性向上の妨げとなっていた。この問題点を解決するために，機械式変速（歯車）から電気式変速（ギヤレス化）への変更が望まれていた。

本機械は前述のとおり，各ロール間の速度差で延糸を行っており，速度の変動は製品不良となるだけでなく，糸切れを引き起こす原因となる。したがって，電動機の回転速度は高い精度が要求される。

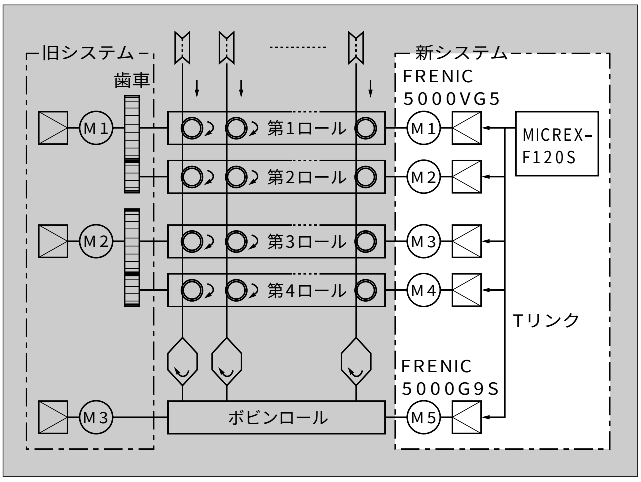
これらの事項を実現するためには，高い演算機能を持つコントローラと高い速度設定分解能および速度制御精度を持つモータドライバが必要となる。

図１にシステム構成を示す。ロール駆動部には，ベクトル制御形インバータ FRENIC5000VG5 を使用し，制御装置としては，プログラマブルコントローラ（PLC）MICREX-120S を使用した。各装置間を T リンクで結合し，ロール駆動部の運転，停止および各ロールの速度設定を行っている。各ロールの速度指令は，T リンク上に吸い上げられる第 1 ロールの速度実際値に所定の変速比率を掛けた結果を次段のロールに与えている。

このほか，**図２**に示すように速度安定性はもちろん，速度応答（速度切換点）も重要となる。これも PLC の加減速時定数演算ルーチン（アプリケーションソフトウェア）を使用して精度の高いものとしている。また，主速度の設定を加速時には第 1 ロールに，減速時には第 4 ロールにすることにより，常に糸材にテンションを掛け，糸たるみの発生を防いでいる。

このように，Tリンクを適用したことによって，単なる

図１　延糸機のシステム構成



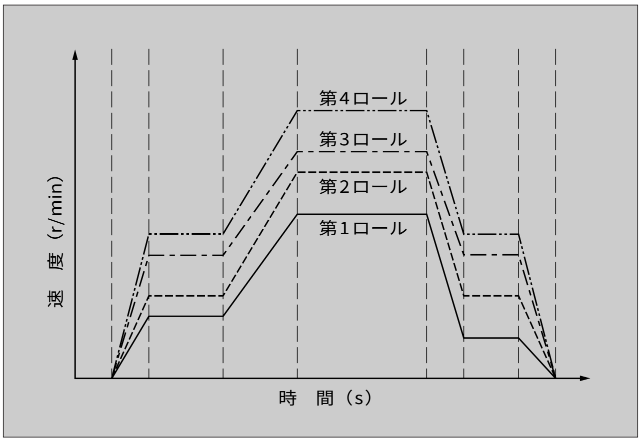
島田　喜秋

制御機器，可変速駆動機器のシステムエンジニアリング業務に従事。現在，機器事業本部営業統括部商品技術部主任。

井田　貴士

可変速駆動機器のシステムエンジニアリング業務に従事。現在，機器事業本部営業統括部商品技術部主任。

図２　各ロールの速度パターン



省配線化の実現だけでなく，同期比率運転に欠かせない電動機実速度検出，演算結果の伝送がＴリンク上で実行でき，データ授受の取扱いがきわめて容易になった。

3　トランスファマシンへの適用

ACサーボ（FALDIC-IM）のトランスファマシンへの適用例を紹介する。

トランスファマシンは，各作業工程へワークを順次移動させていく，いわゆる搬送機械である（**図３**）。本事例は，自動車ボディの溶接工程の搬送ラインに適用したシステムである。動作は，搬入工程に送られてきたボディを昇降軸と横行軸によって次ステーションに送り，再び待機点に戻る運転サイクルである。

基本的な動作は上昇・下降，前進・後退であるが，タクトタイムの短縮のために，上端位置手前で前進起動を，また，前進端位置到達手前で下降起動を行っている。この制御はFALDICの定点検出出力機能を使用している。

搬送機の機構として一般にはボールねじ，ラック＆ピニオンが使用され，1台の電動機で駆動されているものが多い。しかし本機の場合，搬送荷台の幅が長く，1か所での駆動が困難であるため，2台の電動機で駆動する方式を採用した。この方式では2台の電動機が同軸上にあるため，おのおのの電動機の速度に差が生じるといずれかの電動機が過負荷状態となるので，これを防ぐために2台の電動機の負荷バランスをとる必要がある。また，機械の動作として非常時，停電時からの復旧の場合にも待機点に戻す作業が困難であるため，絶対位置管理が必要となる。

以上の課題を解決するために，アクチュエータとして，FALDICシリーズACサーボを使用した。**図４**に制御ブロック図を示す。

2台の電動機の負荷バランスをとるために，スレーブ側のアンプの運転動作をトルク制御として，マスタ側のトルク指令で運転している。

位置制御はマスタ側で行っている。位置管理を行うためのパルスエンコーダは絶対値エンコーダを使用し，電源投入時の原点復帰動作を不要とした。

図３　トランスファマシンの機械構成

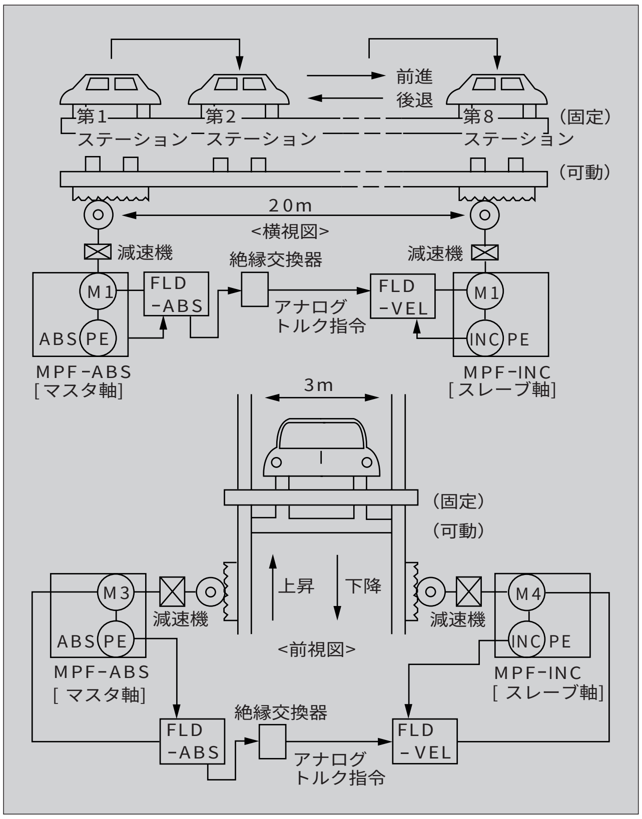
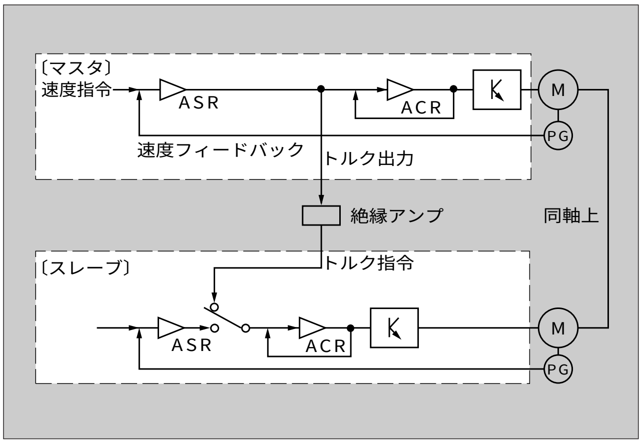


図４　制御ブロック



2台の電動機は同じトルク指令で駆動されるため，高速位置決め，インパクト負荷などに対しても安定した制御が得られている。

4　半導体加工機への適用

磁気記録媒体加工機（FTP）装置へのサーボの適用例を紹介する。

FTPは**図５**に示すように，カセットに格納されているハードディスク（HD）をハンドによってスピンドル部に装着・脱着し，テープによって研磨する機械である。

サーボ軸の構成は，HDの受渡し場所に位置決めを行う「カセット前後軸」が2台，カセットからHDを搬出・搬

入ハンドへ受け渡す「セパレータ上下軸」が 2 台，スピンドル部に装着・脱着する「ハンド左右軸」「ハンド上下軸」の各 1 台とスピンドルの 1 台の計 7 軸から成っている。

位置決めでは，高速かつ高精度な位置決め精度が要求され，スピンドル部では低速から高速領域までの幅広い範囲における安定した回転速度が求められる。また，機械の小形化が進められるなか，コンパクトな電気機構成部品が要求される。全体のシステムとしては，上述の機械 6 台で構成されるラインを 7 ライン管理する必要がある。

以上の要求事項を満足するシステムとして**図 6** の構成とした。

位置決め制御部は，PLC の機能モジュールの 2 軸パルス列位置決めモジュール（NC1F-SP2）を使用し，1μm の精度を実現し，スピンドル部では数 r/min から 5,000 r/min，精度 1 r/min 以下の速度制御を実現した。

小形化に対しては，パルス列入力，アナログ入力のいずれにも対応可能な小形サーボ S シリーズを全軸に使用し，PLC も小形の MICREX-F70S を使用して盤内収納の面でも小スペース化が実現できた。また，各機械の動作管理には，PLC の P リンク（プロセッサ間リンク）を採用し，情報の伝達を相互に行っている。

図 5　FTP の機械概要

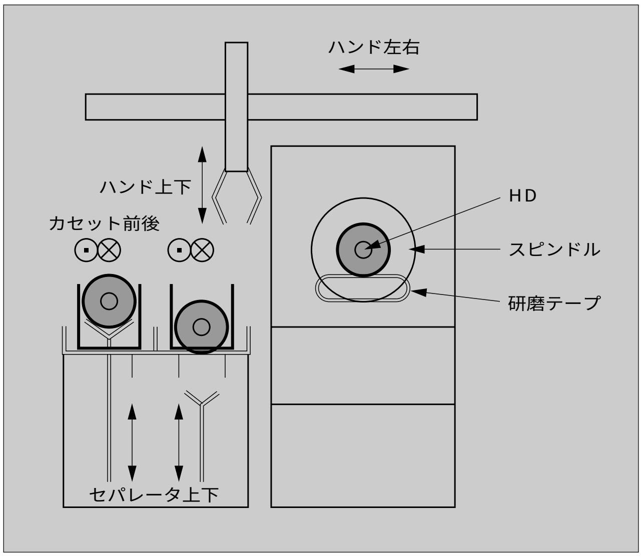
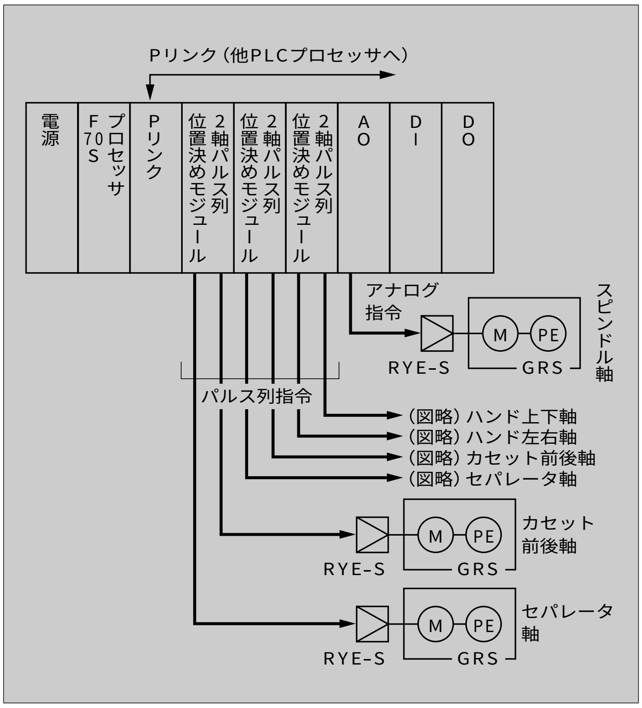


図 6　FTP のシステム構成



5　縦形包装機への適用

縦形包装機へのサーボおよびインバータの適用例を紹介する。

図 7 に縦形包装機のシステム構成を示す。

本機械はカップラーメンなどに入っているスープなどを充てんし，包装する機械である。縦ロールで包装の縦の部分をシールし，横ロールで包装の横の部分をシールすると同時にスープなどの液体を充てんする。横ロールは熱ロールであり，冷却ロールで横シール部分を冷却する。ノッチで切込みを入れ，カッタにより分離する機構である。

したがって，縦ロールに，横ロールからカッタまでが高精度に同期する必要がある。

各ロールおよびノッチ，カッタの駆動には高性能，低価格サーボの ES シリーズを適用し，各サーボの同期制御は MICREX-F70S の電子カムモジュールによる電子カム制御により行っている。

電子カム制御は，縦ロールのエンコーダパルスに同期して横ロールからカッタが，あらかじめ登録してあるカムパターンに従って同期運転される（**図 8**）。

電子カムモジュールとディジタル ES を組み合わせることにより，高速・高精度な包装を実現した。

また，PLC と電子カムモジュールとの組合せにより，

図 7　縦形包装機のシステム構成

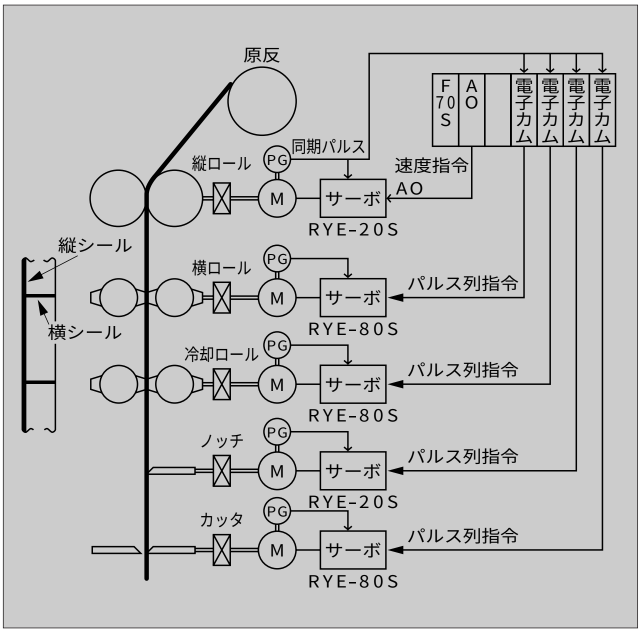
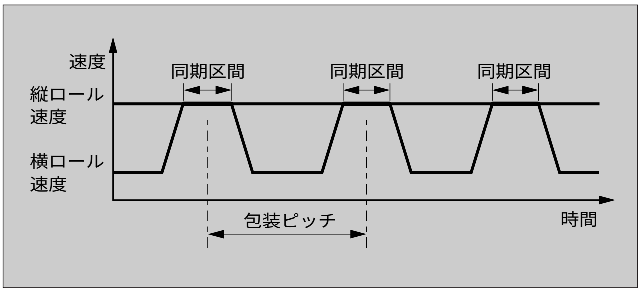


図８　電子カムによる同期制御



従来の機械式カムに比較して段取り換え時間の短縮，機械のコンパクト化，メンテナンスの簡素化など大きなメリットが得られた。

6　タイヤ製造機への適用

タイヤ製造機へのサーボおよびインバータの適用例を紹介する。

図９にタイヤ製造機の機械構成の一部の例を示す。

本機械は，ドラムに数種類のゴムを巻き付けることにより，タイヤの原型をつくる機械である。巻出しロールから巻き出されたゴムはコンベヤで送られ，先端検出センサで検出後，一定量送られたところで停止する。そしてカッタでカット後にドラムに巻き取られる。同様な機構が複数存在し，種類の異なる複数のゴムを巻き付けることにより，タイヤが作られていく。

図10にシステム構成を示す。システム構成は組込形パソコン（Compocle）の ISA バスに F70S の PLC ボードと 4 軸制御ボードを組み込み，Compocle にて制御用データの管理，F70S の PLC ボードにてシーケンス制御を，モーションボードにてサーボの直線補間制御や同期制御などを行っている。

コンベヤの送りとドラムの制御には，高速化，高精度化を目的として新形の高性能ディジタルサーボ FALDIC-Ⅱを適用した。コンベヤ間の同期を取るため直線補間機能を使用している。ドラムの巻付けはドラムのエンコーダパルスを基準としてコンベヤとの同期制御を行っている。

ゴムの巻出しとゴム間に挟んでいるライナの巻取りには，ベクトル制御形インバータを適用した。コンベヤとの同期速度を PLC で演算し，巻出し用インバータへの速度指令としている。また，巻取りはインバータのトルク制限機能による張力一定制御を行っている。ベクトル制御形インバータの採用によりコンベヤの動きにスムーズに追従した巻出しおよび制御が実現できた。

7　あとがき

インバータ・サーボシステムを使用した産業機械，設備

図９　タイヤ製造機の機械構成の一部

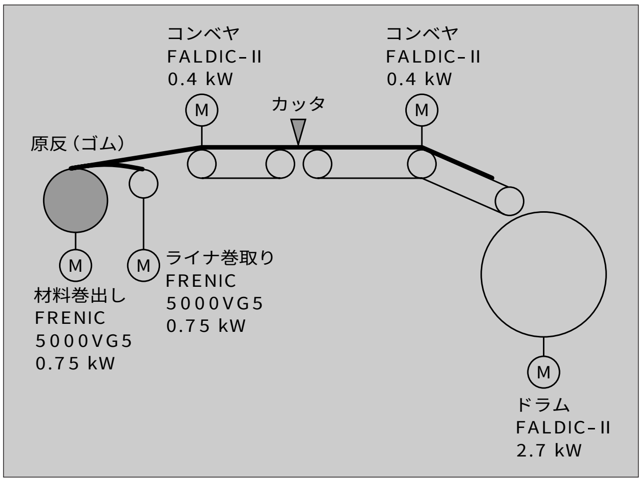
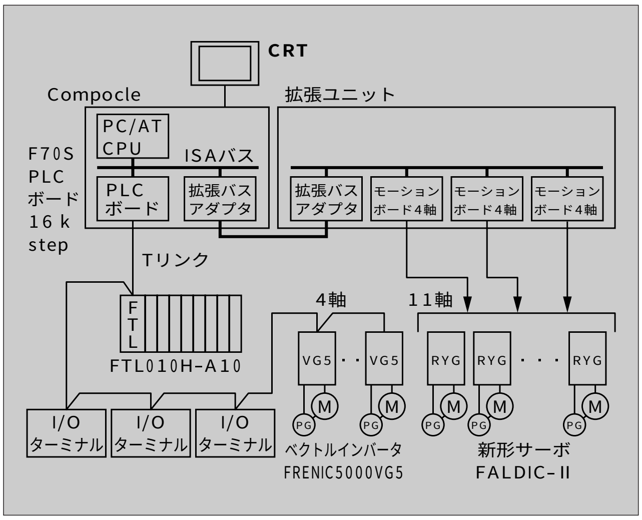


図 10　タイヤ製造機のシステム構成



への適用例を紹介した。ここに紹介したとおり，標準のインバータ・サーボを PLC を使用して制御することにより，さまざまな機械に適用が可能である。

産業機械，設備の基盤技術となったインバータ・サーボシステムに対する要求は，今後も複雑化・多様化していくものと考えられる。

特に，米国，欧州に始まったオープン化の要求は日本市場へも浸透しており，インバータ・サーボにおいてもオープンネットワーク（例：JPCN-1，PROFIBUS，AS-i，Sercos）への対応は急務である。

これらの状況を踏まえ，富士電機は FA オープン化を積極的に推進し，これに対応する製品をタイムリーに提供する予定である。

最後に，本稿にシステム事例を記載するに際して，心よく承諾下さいましたユーザー各位に，お礼ならびに感謝申し上げる次第である。

インバータ・サーボアンプ・回転機の CE マーキングへの対応

森口　千秋（もりぐち　ちあき）　　西山　誠治（にしやま　せいじ）　　﨑山　貴史（さきやま　たかし）

1　まえがき

従来，ヨーロッパの各国はそれぞれ独自の製品安全規制を行っていた。しかし，EU（ヨーロッパ連合）の設立後，EU 域内の製品流通の自由化を促進し，EU 統一市場のスケールメリットを生かすためには，各国の安全規制の不ぞろいが障害となってきた。そこで EU 域内で統一された製品安全規制が制定されることになった。これが CE マーキングである。

EC 理事会は，製品のカテゴリー別に EC 指令（機械指令，EMC 指令，低電圧指令により構成）を発令している。EC 指令の施行後は，ヨーロッパに輸出される製品は，指令および安全規格に整合し，それを証明するための「CE マーク」がはり付けられなければならない。

1997 年 1 月からの低電圧指令の施行に伴い，EC 指令はすべて猶予期間を終了した。富士電機のインバータ・サーボ・回転機は，早くから CE マーキングへの対応に取り組み，製品改良などを行ってきたので，ここではその概要・実施例について述べる。

具体的な製品安全設計のため，EU 域内の統一規格として個別に EN 規格が定められているが，製品によっては EN 規格が現在でも明確になっていないものもある。

駆動制御機器の製品に関し，適用される代表規格を**表1**に示す。

表1　適用規格の一覧

分類 ＼ 製品群	EC指令		
	低電圧指令	EMC指令	機械指令
インバータ	VDE0160 (preEN50178)	EN50081-1，2 EN50082-2	－
サーボアンプ	VDE0160 (preEN50178)	EN50081-2 EN50082-2	－
サーボモータ	IEC34-1	－	(IEC34-1)
一般電動機	IEC34-1	－	(IEC34-1)

2　低電圧指令への対応

低電圧指令では，電圧定格が直流 75 V 以上 1,500 V 以下，交流 50 V 以上 1,000 V 以下の電気機器が対象である。低電圧指令への適合を証明するための方法は二つある。一つは，低電圧指令に適合する規格に従って評価を行い，自主宣言する方法であり，もう一つは，ヨーロッパの認定機関により適合性の証明を行い，自主宣言する方法である。

2.1　インバータ・サーボアンプの低電圧指令対応

インバータ・サーボアンプは，低電圧指令適用の対象品とみなされる。

インバータ・サーボアンプに対しては，正式に製品別に決められた個別製品規格や製品群規格がないため，富士電機では次のように対応している。

インバータは，ヨーロッパの認定機関である TÜV Rheinland から適合規格 VDE0160/1988 に基づいて認証取得を受けて自主宣言を行い，製品に CE マークのはり付けを行っている。

サーボアンプは，前記適合規格に従って評価し，自主宣言を行っている。ただし，サーボアンプは機械に組み込まれて輸出されるため，後述する機械指令の対象となるので，製品には CE マークのはり付けは行っていない。

2.1.1　低電圧指令の要求事項と対策

低電圧指令では，一般安全要求事項として，電気機器を適切に取り付け正しく使用する場合には，故障なく機能し，人身に危険を及ぼす原因を引き起こさないように，設計・製造されるべきことが規定されている。

電気機器の安全対策としては，「感電からの人身保護」「感電防止」が重要なポイントである。

インバータ・サーボアンプの安全対策の概要を**図1**に示す。

図1に示すように，高圧部である主回路部（整流回路，平滑コンデンサ，インバータ部）と人が操作する制御回路部分［操作パネル，入出力（I/O）端子］とを確実に絶縁し，人が操作パネル・I/O 端子に接触しても感電しない

森口　千秋

誘導電動機の設計・開発に従事。現在，三重工場回転機設計部主査。

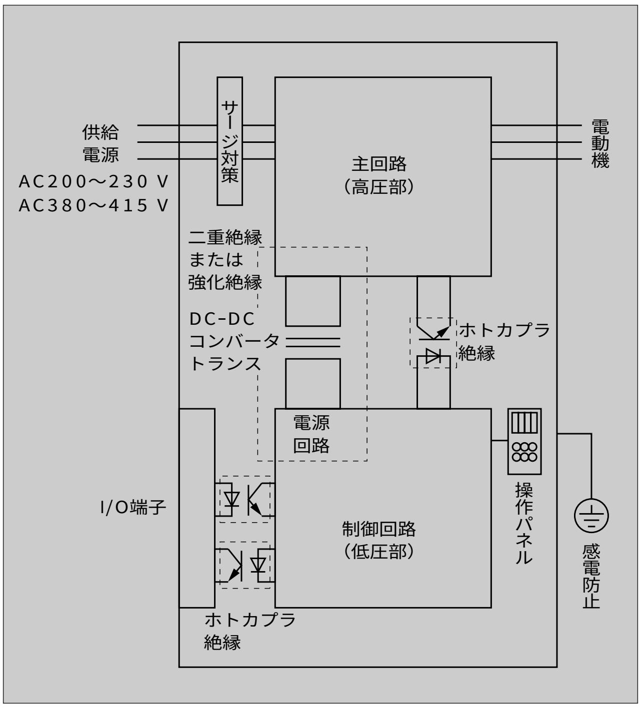
西山　誠治

インバータの設計に従事。現在，鈴鹿工場インバータ設計部。

﨑山　貴史

サーボアンプの設計に従事。現在，三重工場サーボシステム部。

図1　インバータ・サーボアンプの安全対策の概要



ように，絶縁距離・沿面距離を確保する。

2.1.2　インバータ・サーボアンプの感電防止対策

インバータ・サーボアンプの主な感電防止対策例を次に示す。

(1)　絶縁距離・沿面距離

絶縁距離・沿面距離に関して適用される規格としてはIEC664-1があり，インバータ・サーボアンプでは，この規格に従って装置内の絶縁設計を行った。

(a)　操作パネル・I/O 端子用の制御電源を供給する電源回路は，主回路部から確実にここで絶縁する必要がある。そのため電源回路の対策として，電源回路用変圧器の構造変更および仕様変更を行った。

(b)　高圧部と低圧部が混在する回路部に対し，次の設計変更を行った。

○ 絶縁距離・沿面距離確保のために基板変更を行った。
○ ホトカプラ，端子台は EN 規格認定品を使用した。
○ 変圧器，電流検出器の部品変更を行った。
○ アラーム警報出力（30A，B，C）の電圧仕様を DC 48 V 以下とした。

(2)　筐体（きょうたい）との接地

インバータ・サーボアンプを使用する場合，確実にアース処理することが必要とされる。アース端子記号を，アース端子の識別用として規定された表示に合致させた。

(3)　使用環境

電気機器の使用される環境によっては，安全対策の方法が異なってくる。インバータ・サーボアンプは，制御盤内に収納されて使用されることを前提に適合性を評価し，自主宣言を行っている。

また，適合規格では，使用するときの周囲温度，保管・輸送するときの温度，大気圧，湿度範囲が明記されている。

インバータ・サーボアンプの使用環境・設置環境に関する詳しい内容は，製品の取扱説明書，自主宣言書に記載している。

2.2　回転機製品の低電圧指令対応

インバータモータ，サーボモータを含めた回転機（電動機および電動機応用製品）については，該当する EN 規格が制定されていない。

CE マーキングの対象となるのは，原則として回転機が単体製品として直接ヨーロッパへ輸出される場合であり，機械に組み込まれて輸出されるものは後述の機械指令に該当し，CE マークはり付けの対象外となる。

回転機の製品仕様に対する明確な規定は，低電圧指令およびヨーロッパ規格にはないが，機械に取り付けられる回転機も単体製品の回転機も，求められる安全の思想は同じであるため，機械指令で要求される IEC34-1 への適合を製品設計の基準とした。国内向け一般電動機との主な相違は次のとおりである。

(1)　保護方式： IEC34-5 適用（IP43 以上）
(2)　特性，試験： IEC34-1 適用
(3)　端子記号，回転方向： IEC34-8 適用
(4)　銘板記載事項： IEC34-1 適用（CE マークのはり付け）

なお，機械に組み込まれてヨーロッパへ輸出されるものについても，特に顧客要求があった場合には，CE マークのはり付け，自主宣言書の発行を行っている。

3　EMC 指令への対応

3.1　EMC 指令対応の概要

近年の電気・電子機器はディジタル化や処理の高速化が進み，外部に対し電磁妨害波を出しやすく，また外部から侵入する電磁ノイズの影響を受けやすくなっている。

EMC 指令は，電磁ノイズの発生（エミッション）に対する規制と，外部から侵入する電磁ノイズに対して機器が安定に動作する能力（イミュニティ）への規制の双方を規定している。

また，EMC 指令においては，その機器が使用される環境を住宅，商業，軽工業地区と工業地区の二つに分け，おのおのに対しエミッションおよびイミュニティ双方の規制値を設けている。

3.2　対応規格

インバータ・サーボアンプに対しては，特別に製品別に決められた個別製品規格（Dedicated Product Standards）や製品群規格（Product Family Standards）がないため，共通規格（Generic Standards）に従って評価を行った。特に，インバータでは，使用される環境が商業地区・工業地区の両方に存在しており，一部機種では，商業地区および工業地区の双方に対応したメニューをそろえている。詳細は**表2**を参照いただきたい。

表２　機種別対応規格の一覧

機種＼項目	入力電圧	シリーズ	容量範囲（kW）	対応規格
インバータ	三相200V	FRENIC5000G9S-2	0.2～22	EN50081-2 EN50082-2
		FRENIC5000P9S-2	5.5～22	
		FVR-E9S-2	0.1～3.7	EN50081-1 EN50082-2 家庭環境での使用可
	単相200V	FVR-E9S-7	0.1～2.2	
	三相400V	FRENIC5000G9S-4	0.4～22	
		FRENIC5000P9S-4	5.5～22	
		FVR-E9S-4	0.4～3.7	
		FRENIC5000G9S-4EN	30～220	EN50081-2 EN50082-2
		FRENIC5000P9S-4EN	30～280	
		FRENIC5000VG5S-4EN	11～55	
		FRENIC5000VG5N-4EN	7.5～45	
サーボアンプ	三相200V	ディジタルES	0.05～3.7	
		FALDIC-Ⅱ	0.05～3.7	

3.3　規格対応のポイント

インバータ・サーボアンプは従来，工業地区において使用されることを前提にイミュニティ特性の強化を行い，外来ノイズの影響を受けにくい構造となっている。したがってEMC 指令への適合のためには，もう一方の規制であるエミッションの抑制対策が重要なポイントとなる。

ここでは，主としてエミッションの抑制対策について報告する。

図２にエミッション抑制のための一例を示し，次にその要点について述べる。

3.3.1　伝導妨害波対策

機器内で発生し，電源線を経由して外部に流れ出す高周波ノイズを伝導妨害波と呼ぶ。EN50081 では 150 kHz から 30 MHz までのノイズ成分を計測し規格値内にあることが要求されている。

このノイズレベル低減には電源ラインにノイズフィルタを追加することが不可欠となる。

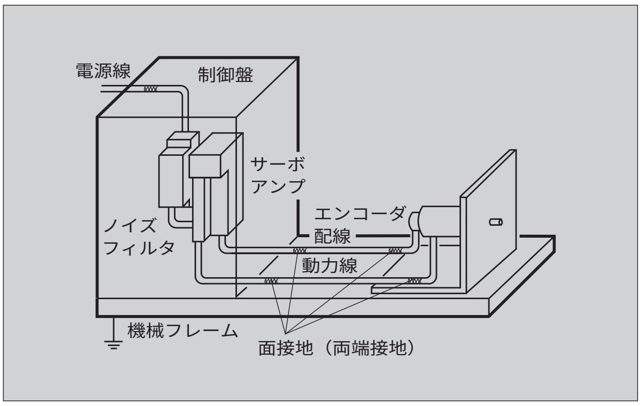
電源フィルタの選択にあたっては，機種・容量ごとに異なるため，適合する電源フィルタについては，機種別の技術資料を参照いただきたい。

また，小容量のインバータでは，フットマウント形と呼ばれる本体と一体形になった電源フィルタを用意し，省配線化，省スペース化を可能とした。

3.3.2　電磁放射妨害波対策

インバータ・サーボアンプの内部に持つスイッチング（クロック発振部，DC-DC コンバータ部およびパワー制御部）素子動作時の高調波成分が，製品本体および機器につながるケーブルからノイズとなって放射される。電磁放射妨害波対策は，このノイズをいかに製品機器内部に封じ込めるかがポイントとなる。

図２　エミッションの抑制対策事例



(1)　制御盤に対する対策

まず第一に導電性の制御盤にインバータ・サーボアンプを内蔵し，シールドを行う。ただし，この際注意すべき点は，制御盤のすきま処理である。一般に，電磁波は，その波長の 1/10 以下のすきまは通過できないといわれている。したがって，機器から放射される最大周波数ノイズ波長の 1/10 以下となるようすきま処理を行えば，制御盤から漏れ出る妨害波を減衰させることができる。

富士電機の測定結果では，200 MHz 以上の電磁波はレベルが非常に小さく問題とならない。200 MHz の波長が 1.5 m であり，その 1/10 ＝ 15 cm 以下にすきま処理を行えばよいことになる。このすきま処理は，扉部，通気口，制御盤の合わせ面に特に注意を要する。扉部には導電性ガスケットを使用し，金属板の合わせ面などは，塗装をはいだうえで，面と面で接触させることを推奨している。

(2)　ケーブルに対する対策

制御盤からの引出線（動力線，信号線）がアンテナ源となりノイズを放射する。この対策もシールドが効果を発揮する。

しかし，そのシールドの取り方によっては効果が問題となる。

ノイズ遮へい効果の最も高いケーブル処理方法は，**図２**に示すような面接地処理である。数 MHz 以上のノイズ成分電流は電線の表面しか流れなくなる表皮効果のため，シールド先端をより線にして接地した場合，大きな接地インピーダンスを持つことになり，シールド効果の大幅低下を引き起こす。そこで，シールドを接地する場合は，筐体に対しシールド線の編組部が面で接地する構造が推奨される。

4　機械指令への対応

機械指令は，最終製品である機械装置に適用される。

インバータ，サーボアンプは，最終製品ではないため CE マーキングの対象外である。しかし，富士電機の製品が使用される機械システムでは，その機械システムが安全かどうかが問題となる。

富士電機ではヨーロッパ向けの機械に対して，前記の低

電圧指令と EMC 指令に対応したインバータ・サーボアンプを供給しているので，機械指令についても問題なく適合できる。

サーボモータなどの回転機も単体では CE マーキングの対象外であるが，それらを組み込んだ機械は CE マーキングへの対応が必要となるので注意を要する。

機械装置の安全規格である EN60204-1 では，機械に組み込まれる回転機に対して次の要求をしている。

(1)　規格 IEC34-1 の要求事項を満たすこと

(2)　保護等級は少なくとも IP23 以上のこと

(3)　寸法はできるだけ IEC72-1，2 に適合すること

IEC34-1 ではインバータやサーボアンプのような絶縁構成についての詳細な規定はないが，耐電圧試験などによる安全性の評価を規定している。

富士電機は下記の回転機製品について，TÜV Product Service の認証を取得しており，IEC34-1 に適合すると同時に，機械指令に合致した製品としている。

○標準三相電動機　：0.1 ～ 15 kW，2 ～ 6 極

ブレーキモータ　：0.1 ～ 15 kW，4 ～ 6 極

ギヤードモータ　：0.1 ～ 7.5 kW，4 極

リングブロー　：0.09 ～ 15 kW，2 極

クーラントポンプ：0.04 ～ 1.2 kW，2 極

5　あとがき

以上，インバータ・サーボアンプ・回転機の CE マーキングへの対応について述べた。

EC 指令の要点は，「電気機器が故障なく機能し，人身に危険を及ぼさないこと，および電磁妨害波の発生を抑制しかつその影響を受けにくくすること」である。このため，今回構造の全面見直しを行い，かつノイズの発生・伝搬メカニズムの解析と評価を行うことにより，EC 指令へ適合させることができた。

今後は，これらの経験を基にさらに技術の研鑽（けんさん）を積み，もう 1 ランク上の製品安全性の確保ならびに品質向上のために努力する所存である。

技術論文社外公表一覧

標題	所属	氏名	発表機関	
「水とハイテク」クリプトスリジウム対策と濁度計測 1 クリプトスポリジウムと暫定指針における濁度管理	公共システム事業部 富士電機総合研究所 〃	伊藤　晴夫 本山　信行 大戸時喜雄	水，**39**，552（1997）	月刊「水」発行所
「水とハイテク」クリプトスリジウム対策と濁度計測 2 濁度と微粒子計測	公共システム事業部 富士電機総合研究所	伊藤　晴夫 大戸時喜雄	水，**39**，553（1997）	月刊「水」発行所
金属ベースプリント配線板における銅イオンマイグレーションと誘電特性の関係	富士電機総合研究所 〃 〃	岡本　健次 前田　賢彦 芳賀　弘二	回路実装学会誌，**12**，6（1997）	回路実装学会
「水とハイテク」クリプトスリジウム対策と濁度計測 3 凝集・沈殿・ろ過の新しい計測制御システムの提案	公共システム事業部 富士電機総合研究所	伊藤　晴夫 大戸時喜雄	水，**39**，555（1997）	月刊「水」発行所
計測と制御を一体化したモデル予測制御	S I セ ン タ ー	黒谷　憲一	電気学会誌，No.10（1997）	電気学会
ニューラルネットワークによる一次元ゲート割り当て問題の解法	富士ファコム制御 S I セ ン タ ー	土屋　和広 黒谷　憲一	電気学会電子・情報・システム部門誌，**117**–C，10（1997）	電気学会
超高圧 GIS の開発	富士電機総合研究所 変電システム製作所	岩井　弘美 堤　睦生	OHM，No.10（1997）	オーム社
生産管理システムとの連係によるエネルギー管理	計測システム事業部	大屋　和博	1997 年版省エネルギー設備・機器要覧省エネルギー（増刊号）（1997–10）	省エネルギーセンタ
Orientation Dependence of the Oxidation of SiC Surfaces	富士電機総合研究所	上野　勝典	Phisica Status Solidi, **162**, 1（1997）	Akademie Verlag
Measurement of the Breakdown Voltage of Lateral Power MOSFET on a SOI Film with Varying the Surface Design around the Gate Region	富士電機総合研究所 〃	澄田　仁志 平林　温夫	Japan Journal of Applied Physics, No.36（1997–10）	応用物理学会欧文誌刊行会
Evaluation of the Performance Degradation at Phosphoric Acid Fuel Cells, Dealloying Process of Pt-Co-Ni Electrocatalysts	燃料電池事業推進室	中島　憲之	電気化学会学会誌，**65**，10（1997）	電気化学会

可変速駆動システムの高調波抑制手法

大阿久 康之（おおあく　やすゆき）

1　まえがき

汎用インバータ，サーボアンプなどの可変速駆動システムでは，交流電圧を直流電圧に変換する回路にダイオード整流器を適用しているため，入力電流には多くの高調波成分を含んでいることが知られている。

商用電源系統に接続する機器に関しては，電力を供給するための機器，系統に接続されている他の機器の高調波障害（異常過熱，誤動作など）を防止することを目的として，通商産業省資源エネルギー庁から高調波抑制対策ガイドラインが示されている（1994 年 9 月）。

ここでは，高調波抑制対策ガイドラインに基づき，可変速駆動システムにおける高調波抑制手法の実際について述べる。

2　高調波抑制対策ガイドラインの適用区分

ガイドラインには，小容量の機器を対象として機器単体の高調波発生量を規制する「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」（以下，家電・汎用品のガイドラインと略す）と，需要家ごとの受電点で発生する高調波の総量を規制する「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制ガイドライン」（以下，特定需要家のガイドラインと略す）の 2 種類がある。

ガイドラインの適用区分については，既刊の別稿[(1)]を参照いただきたい。

3　家電・汎用品のガイドラインに応じた高調波抑制手法

このガイドラインにおける最終目標は厳しいレベルとなっており，回路方式の見直しを含めた検討が必要であるが，当面の対策としては，製品ごとに直流リアクトルまたは交流リアクトルを接続して，高調波を抑制する方法がとられている。

図1，**図2**に代表的な汎用インバータ，サーボアンプの主回路構成とリアクトルの接続箇所を示す。

図１　主回路構成（三相入力，三相出力）

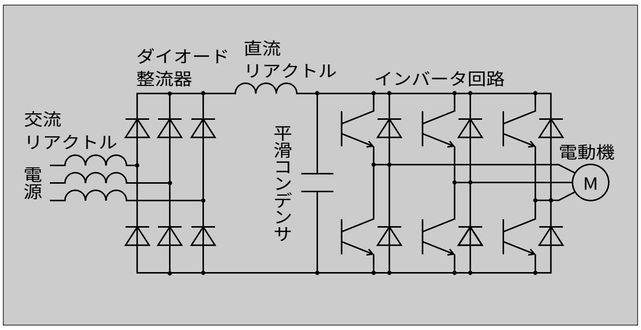
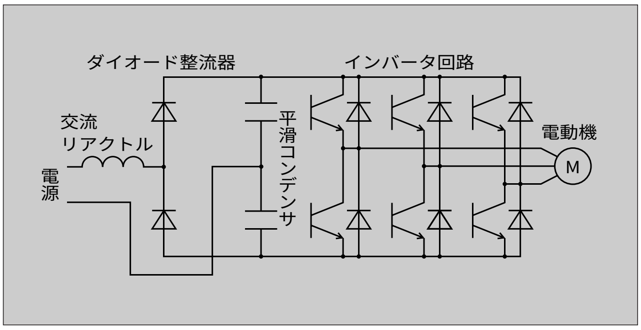


図２　主回路構成（単相 100 V 入力，三相 200 V 出力）



汎用インバータ，サーボアンプについては，それぞれの機種について，（社）日本電機工業会がガイドラインに基づいた「高調波抑制対策実施要領」を作成している[(2)(3)]。

4　特定需要家のガイドラインに応じた高調波抑制手法

ガイドラインへの具体的対応については，（社）日本電気協会発行の「高調波抑制対策技術指針」（JEAG 9702-1995）に全般的な解説が記載されている。

ここでは，この「技術指針」に基づき，インバータやサーボシステムにおける高調波電流の計算方法，抑制手法について説明する。

大阿久 康之

汎用インバータの設計に従事。現在，鈴鹿工場インバータ設計部課長補佐。

4.1　高調波流出電流計算書の作成手順

新規に高圧または特別高圧から受電する需要家で，高調波発生機器を使用する場合，すでに高圧または特別高圧から受電している需要家で，高調波発生機器を新設，増設，更新および契約の変更がある場合は，「高調波流出電流計算書」を作成し，電力会社の窓口へ提出する必要がある。

「高調波流出電流計算書」は，以下の手順で作成する。

(1)　高調波発生機器の「6 パルス等価容量」を計算し，限度値との比較により，特定需要家に該当するか否かを判断する。

(2)　特定需要家に該当する場合は，高調波流出電流を計算し，上限値（許容値）との比較により，高調波抑制対策が必要か否かを判断する。

(3)　高調波抑制対策が必要な場合は実施し，低減効果を考慮した高調波流出電流を計算する。

4.1.1　6 パルス等価容量の計算[4]

6 パルス等価容量は以下の 2 式で計算する。

○高調波発生機器の回路種別ごとの合計容量 P_i ＝定格入力容量×台数

○ 6 パルス等価容量＝Σ（合計容量 P_i × 6 パルス換算係数 K_i）

計算に用いる汎用インバータ，サーボアンプの定格入力容量，6 パルス換算係数 K_i については，既刊の別稿[5]を参照いただきたい。

6 パルス等価容量が**表 1** に示す限度値を超過する場合，特定需要家に該当する。

4.1.2　高調波流出電流上限値（許容値）の計算

特定需要家から系統に流出する高調波流出電流の上限値（許容値）は，次の式で次数ごとに計算する。

○高調波流出電流上限値＝契約電力×契約電力 1 kW あたりの高調波流出電流上限値

計算に用いる契約電力 1 kW あたりの高調波流出電流上限値を**表 2**[4]に示す。

4.1.3　定格入力電流値（基本波）の計算[4]

高調波流出電流の計算のベースとなる高調波発生機器の定格入力電流値（基本波）は，次の式で計算する。

○定格入力電流（基本波）＝定格入力容量/（3 ×受電電圧× 1.0228）

4.1.4　高調波流出電流値の計算

高調波流出電流値は，高調波発生機器の定格入力電流値（基本波），定格入力電流に対する高調波電流発生量（%），高調波発生機器の最大稼動率，および契約電力規模による補正率から，次の式で次数ごとに計算する。

○高調波流出電流＝定格入力電流×高調波電流発生量×最大稼動率×補正率

計算に用いる高調波電流発生量（%）を**表 3**[4]に，補正率を**表 4**[4]に示す。最大稼動率については，前述の「技術指針[4]」を参照いただきたい。

4.2　高調波抑制手法

各次数の高調波流出電流値が上限値を超過する場合は，抑制対策を実施し再度高調波流出電流値を計算する必要がある。

汎用インバータ，サーボアンプの高調波抑制手法としては，以下の 4 方式が一般的である。

(1)　リアクトルの接続

(2)　12 パルス接続

(3)　PWM コンバータの適用

(4)　アクティブフィルタの適用

4.2.1　リアクトルの接続

最も経済的な高調波低減策は，**図 1** のように交流リアクトルまたは直流リアクトルを接続する方法である。

リアクトルの有無による効果は，**表 3** に示した数値の差

表 1　等価容量の限度値

受電電圧	限度値
6.6 kV	等価容量が 50 kVA
22/33 kV	等価容量が 300 kVA
66 kV 以上	等価容量が 2,000 kVA

表 2　契約電力 1kW あたりの高調波流出電流上限値

受電電圧	5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	23次超過
6.6 kV	3.5	2.5	1.6	1.3	1.0	0.90	0.76	0.70
22 kV	1.8	1.3	0.82	0.69	0.53	0.47	0.39	0.36
33 kV	1.2	0.86	0.55	0.46	0.35	0.32	0.26	0.24
66 kV	0.59	0.42	0.27	0.23	0.17	0.16	0.13	0.12
77 kV	0.50	0.36	0.23	0.19	0.15	0.13	0.11	0.10
110 kV	0.35	0.25	0.16	0.13	0.10	0.09	0.07	0.07
154 kV	0.25	0.18	0.11	0.09	0.07	0.06	0.05	0.05
220 kV	0.17	0.12	0.08	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03
275 kV	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02

（単位：mA/kW）

表 3　高調波電流発生量［三相ブリッジ（コンデンサ平滑）］

回路区分	各次高調波電流発生量（%）（I_n / I_1）							
	5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次
リアクトルなし	65	41	8.5	7.7	4.3	3.1	2.6	1.8
交流リアクトルあり	38	14.5	7.4	3.4	3.2	1.9	1.7	1.3
直流リアクトルあり	30	13	8.4	5.0	4.7	3.2	3.0	2.2
交流および直流リアクトルあり	28	9.1	7.2	4.1	3.2	2.4	1.6	1.4

表 4　規模による補正率（標準値）

契約電力（kW）	補正率 β
300	1
500	0.9
1,000	0.85
2,000	0.8

として見ることができる。

4.2.2　12 パルス接続[4]

電圧の位相を 30 °ずらした 2 種類の変圧器（△－△，△－⅄）に負荷を均等に接続することにより，電源系統に流出する 5 次，7 次，17 次，19 次などの高調波電流を低減できることが知られている。

12 パルス接続の方法は，回路種別，負荷変動の有無により，以下の 3 ケースに分類される。

(1)　12 パルス入力方式の変換器の場合

12 パルス入力方式の変換器は，大容量の装置で適用される場合が多い。**図3**に接続例を，**表5**に高調波電流発生量（%）を示す。

なお，**表5**の算出条件には，一般的な値として，以下の数値が考慮されている。

○ 変圧器：パーセントリアクタンス＝ 3 %
○ 負荷の残留アンバランス：± 5 %
○ 電源側のインピーダンスのばらつき：± 10 %

(2)　同一回路種別，同一容量のインバータ，サーボアンプが，常に同一の負荷条件で同時運転される場合

図4に複数台のインバータ，サーボアンプの 12 パルス接続例を示す。2 台の変圧器に対し，常に均等な条件で運転する場合，高調波の抑制効果は最大となる。この場合の高調波電流発生量（%）は**表5**と同じになる。

表5における基本波電流 I_1 は，12 パルス接続した全設備容量（端数分を除く）の定格負荷時の値である。

端数分の高調波電流発生量（%）には，**表6**を適用する。**表3**よりも小さな値となっているのは，変圧器のパーセントリアクタンス＝ 3 %を考慮しているためである。

なお，基本波電流 I_1 は，端数分の定格負荷時の値を適用する。

(3)　多数台の変動負荷を容量的に二分する場合

2 台の変圧器に対し，最もアンバランスな運転条件は，1 台の変圧器の負荷が最大（全負荷の 50 %）で，他の 1 台の変圧器の負荷が停止（0 %）の場合である。

表7に単一の回路種別で，負荷がバランスしている場合，アンバランスしている場合の高調波電流発生量（%）を示す。**表8**に複数の回路種別が混在し，負荷がバランスしている場合，アンバランスしている場合の高調波電流発生量（%）を示す。

アンバランスの比率が 50 %： 0 %以外の場合は，直線補間の計算によって高調波電流発生量（%）を求める。

表7，**表8**における基本波電流の取扱いは，**表5**と同じである。また，端数分については，(2)と同様に**表6**を適用する。

4.2.3　PWM コンバータの適用

PWM コンバータの回路方式は，ガイドライン附属書のなかでは「回路分類 5.自励三相ブリッジ」として分類され

図3　12 パルス入力方式の変換器

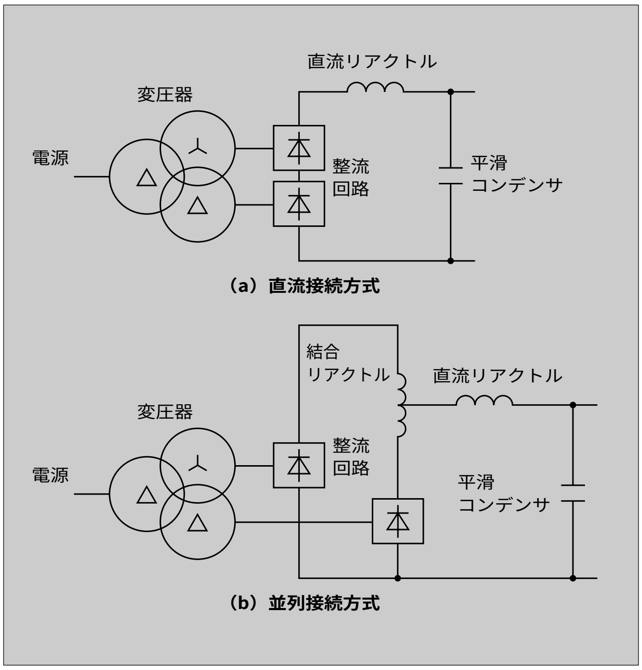


図4　複数台インバータの 12 パルス接続の例

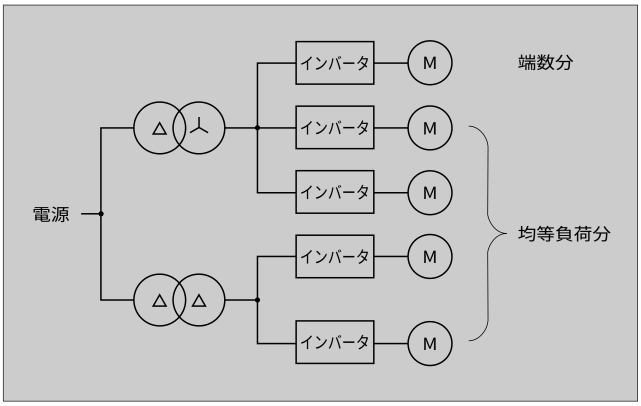


表5　12パルス接続時の高調波電流発生量（同一容量，同時運転負荷）

回路区分	各次高調波電流発生量（%）（I_n / I_1）							
	5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次
リアクトルなし	3.1	2.7	7.4	3.4	0.8	0.8	1.7	1.3
交流リアクトルあり	1.6	1.7	6.2	3.3	0.7	0.6	1.0	1.0
直流リアクトルあり	1.4	1.5	7.2	4.1	0.8	0.7	1.6	1.4
交流および直流リアクトルあり	1.5	1.2	6.0	3.8	0.6	0.5	1.0	1.0

表6　12パルス接続時の端数設備の高調波電流発生量［三相ブリッジ（コンデンサ平滑）］

回路区分	各次高調波電流発生量（%）（I_n / I_1）							
	5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次
リアクトルなし	38	14.5	7.4	3.4	3.2	1.9	1.7	1.3
交流リアクトルあり	31	8.7	6.2	3.3	2.3	1.9	1.0	1.0
直流リアクトルあり	28	9.1	7.2	4.1	3.2	2.4	1.6	1.4
交流および直流リアクトルあり	26	8.2	6.0	3.8	2.3	1.8	1.0	1.0

表７　12パルス接続時の高調波電流発生量（変動負荷，単一の回路種別）

回路区分	負荷分担	各次高調波電流発生量（%）（I_n/ I_1）							
		5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次
リアクトルなし	50%：50%	3.1	2.7	7.4	3.4	0.8	0.8	1.7	1.3
	50%：　0%	19.0	7.3			1.6	1.0		
交流リアクトルあり	50%：50%	1.6	1.7	6.2	3.3	0.7	0.6	1.0	1.0
	50%：　0%	15.5	4.4			1.2	1.0		
直流リアクトルあり	50%：50%	1.4	1.5	7.2	4.1	0.8	0.7	1.6	1.4
	50%：　0%	14.0	4.6			1.6	1.2		
交流および直流リアクトルあり	50%：50%	1.5	1.2	6.0	3.8	0.6	0.5	1.0	1.0
	50%：　0%	13.0	4.1			1.2	0.9		

表８　12パルス接続時の高調波電流発生量（変動負荷，複数の回路種別が混在）

回路区分	負荷分担	各次高調波電流発生量（%）（I_n/ I_1）							
		5次	7次	11次	13次	17次	19次	23次	25次
交流リアクトルあり 直流リアクトルあり	50%：50%	5.2	1.7	7.2	4.1	1.6	0.9	1.6	1.4
	50%：　0%	15.5	4.6			1.6	1.2		
交流リアクトルあり 交流および直流リアクトルあり	50%：50%	3.5	2.6	6.2	3.8	0.7	0.6	1.0	1.0
	50%：　0%	15.5	4.4			1.2	1.0		
直流リアクトルあり 交流および直流リアクトルあり	50%：50%	2.7	2.4	7.2	4.1	1.5	1.2	1.6	1.4
	50%：　0%	14.0	4.6			1.6	1.2		
交流リアクトルあり 直流リアクトルあり 交流および直流リアクトルあり	50%：50%	5.2	2.6	7.2	4.1	1.6	1.2	1.6	1.4
	50%：　0%	15.5	4.6			1.6	1.2		

ており，等価容量を計算する場合の「6パルス換算係数＝0」である。また，各次数の高調波流出電流の計算においても，「高調波電流発生量（%）＝0」として扱うことができる。

PWMコンバータの詳細については，別稿[(1)]を参照いただきたい。

4.2.4　アクティブフィルタの適用

アクティブフィルタは，高調波発生機器から流出する高調波電流を検出し，これと逆位相の電流を出力する可変電流源である。アクティブフィルタの適用により，電源電流はほぼ正弦波となるが，電流制御応答速度が有限のため，実際の出力電流は，出力電流指令値に対し位相が遅れており，系統に残留成分が流出する。アクティブフィルタの仕様書では，この残留成分の比率を調波別に高調波残留率，もしくは高調波補償率のかたちで記載している。

○ n 次調波残留率（%）＝100 %－n 次調波補償率（%）

また，アクティブフィルタの参考容量は，次の式で求めることができる。

○参考容量 P_H ＝0.25×6パルス等価容量×最大稼動率

アクティブフィルタの適用時に，系統に流出する n 次調波流出電流 I_{Sn} は，高調波発生機器から発生する n 次調波流出電流を I_{Ln} とすると，以下の式で求められる。

(1)　アクティブフィルタ容量 P_A ≧参考容量 P_H の場合

○ I_{Sn} ＝ I_{Ln} × n 次調波残留率/100

この場合，系統に流出する n 次調波流出電流 I_{Sn} は，必ず高調波流出電流上限値以下である。

(2)　アクティブフィルタ容量 P_A ＜参考容量 P_H の場合

○ I_{Sn} ＝ I_{Ln} ×［(1－P_A/P_H)＋P_A/P_H × n 次調波残留率/100］

n 次調波流出電流 I_{Sn} が，高調波流出電流上限値以下であれば，アクティブフィルタの容量を参考容量より小さくすることができる。

5　あとがき

汎用インバータ，サーボアンプを中心に，可変速駆動システムにおける2種類のガイドラインの適用区分，ガイドラインへの対応方法，高調波抑制手法について述べた。

可変速駆動システム導入に際して，本稿が参考になれば幸いである。

参考文献

(1)　川畑志農夫：汎用インバータの発生する高調波とその抑制対策，富士時報，Vol.69，No.12，p.634-636（1996）
(2)　汎用インバータ（入力電流 20A以下）の高調波抑制対策実施要領（JEM-TR198）
(3)　サーボアンプ（入力電流 20 A以下）の高調波抑制対策実施要領（JEM-TR199）
(4)　高調波抑制対策技術指針（JEAG 9702-1995）p.6-120

最近登録になった富士出願

〔特　　許〕

登録番号	名　　称	発明者
2650403	電子写真用感光体	服部　芳正 古庄　　昇
2650405	バイポーラトランジスタ	土屋　和広
2650420	放射能汚染測定装置	花房　龍治
2650423	電子写真複写機用ユニット	山田　羊治
2650424	超音波距離センサ	橋本　　貴
2650450	電子写真用感光体	鍋田　　修 古庄　　昇
2650452	飲料自動販売機の塩素発生器	神崎　克也 鶴田　和博 中久保順一 永田　和重 篠原　泰三
2650456	MOS 型半導体装置	藤平　龍彦
2650460	アルミナセラミックと金属との接合方法	古沢　正幸 篠原　久次
2650465	乾式薄膜加工装置	相楽　　広
2650477	脱気器給水配管のウオータハンマ防止方法及びその配管設備	明翫　市郎 羽山　勝雄 中島　直幸
2650478	溝形誘導炉	林　　静男
2650484	インバータ装置の停止回路	伊藤　弘幸
2651008	パターン認識方法	木内　哲夫 本郷　保夫
2653095	伝導度変調型 MOSFET	関　　康和
2653101	位置決め制御用パルス発生器	鈴木　重雄
2653179	集積回路装置用バンプ電極の製造方法	白畑　　久
2653181	把持装置	片野　智紀
2653200	自動販売機の収納棚	西　　正博
2653204	面内磁気記録媒体の製造方法	山岸　　稔
2653213	操作機器の取付装置	西尾　三男
2653221	カード発行装置	田中　敏美
2653229	自動販売機の扉固定装置	宮尾　哲也
2656128	撮像装置	伊東　正明 福田　和彦 古賀由起夫 福島　慶之
2658385	炉内ナトリウム注入型ナトリウム缶詰方法及び缶取扱用集合体	木下　誠人 新田　和彦
2658386	過電流検出回路	熊谷　直樹

登録番号	名　　称	発明者
2658420	圧力管形原子炉の燃料交換機のセンタリングガイド構造	鈴木　嘉浩
2658422	膜式ドライヤ付のオゾナイザ	西川　孝也
2658427	電力変換用半導体素子のスナバ回路とそのモジュール装置	三木　広志 藤原　喜隆 飯田　清志 田久保　拡 柴山　国夫 小林　真一
2658495	コンデンサ取付装置	小林　栄作
2658500	液体移送ポンプ	太田　成昭
2658505	レーザ発振装置	長嶋　崇弘
2658527	停電検出回路	谷津　　誠 黒木　一男
2658528	半導体装置の外部導出端子	新井　悦男
2658531	放射線測定器	山村　精仁
2658534	超音波センサにおける検出感度の温度補償方法	美麗賢次郎 橋本　　貴
2658537	計測装置用電源およびこれを用いた雷撃電流観測装置	中島　昌俊 高尾　宣行
2658541	インクジェット記録ヘッド	安原　　毅 松本　浩造
2658542	光変流器	小出　英延
2658562	放射線検出装置	増井　　馨
2658563	マイクロ波プラズマドライクリーニングの方法	谷口　春隆 片桐　源一 斎藤　　明
2659365	パルス幅変調制御インバータの制御方法	長尾　義伸 松枝　弘宣
2659440	情報カードの封止方法	川田　紀右
2659454	把持装置	大岡　昌博
2661165	カラー画像の色度演算装置	田草川大久
2661167	半導体スイッチの電流零点遮断制御方法	竹村　　健
2661286	光電変換装置	吉田　　隆
2661292	バンプ電極用めっき電極膜のエッチング方法	丸山　純章
2661309	電気浸透式脱水機の脱水ケーキ剥離装置	今西　　浩 新井　利孝 山口　幹昌
2661331	ベース駆動回路用電源回路	角田　春生

最近登録になった富士出願

〔特　　許〕

登録番号	名　　称	発明者
2661347	セグメントプレス型電気浸透式脱水機	今西　浩 鈴木　成徳 新井　利孝 山口　幹昌
2661351	ボイラファン駆動装置	濱本　博章
2661362	放射能汚染の判定方法及び放射線計数率の測定方法	江本　武彦
2661619	逆阻止形トランジスタモジュール	巣山　廣登 小林　進
2662895	台金付電気接点	篠原　久次 関口　潔 曳田　博 高橋　明博
2663608	ジェットポンプ	中村　俊祐
2663613	出力極性選択機能を備えた補助制御器	田村　安治
2663634	電力用アクティブフィルタの運転方式	小松木和成
2663639	自動販売機のラック仕切板	中村　雅昭
2663666	電子写真用有機系感光体	高木　克彦
2663669	硬貨計数装置の硬貨有無検出装置	新妻　信行
2663671	プレーナ型半導体装置	上野　勝典
2663676	界磁巻線接地検出用テレメータの動作確認装置	遠藤　研二
2663679	伝導度変調型 MOSFET	桜井　建弥
2663684	電動機速度制御系の調整方法	矢野　浩司
2663686	カップ式自動販売機	橋本　正美 太田　春夫
2663710	半導体式加速度センサ及びその製造方法	村松　義久
2663711	圧電素子の貼着方法	斉藤　岳史
2664792	弁座すり合わせ装置	津田喜一郎 屋代　祐利
2666492	電子写真用感光体	菅田　好信 柳内　一樹 古庄　昇
2666501	電子写真用感光体	喜納　秀樹
2666507	ランドリモニタ	柳嶋　良平 河野　悦雄
2666509	固定レーザ装置	田沼　良平
2665550	液体温度調節器	富松　和成
2666551	液体温度調整装置	山口　香
2666825	磁束制御形インバータの直流制動回路	石井　新一
2667291	直流電気車駆動用電圧形 VVVF インバータの制御方法	木下　繁則 岡本　研一 岩堀　道雄 義則　直人 石橋　秀明
2669098	閉鎖配電盤	三浦　泰典
2669106	水車の自己開放形配圧弁	大和　昌一 山之内千里
2669114	エッチング液再生装置	高橋　武男 河原　裕二 日下　豊
2669117	電圧駆動形半導体素子の駆動回路	三木　広志 笹川　清明
2669127	エッチング液再生装置	高橋　武男 白水　繁則 河原　裕二 日下　豊
2669146	半導体素子の保護用ヒューズ	石川　熙
2669897	誤読文字の修正方法	紺野　章子
2669926	薄膜太陽電池	浜　敏夫
2669928	下地用プラズマ溶射膜	川上　春雄
2669944	無励磁作動形電磁ブレーキの消音装置	松村　光美
2671296	ディジタル保護リレーにおける異常表示方式	伊原木永二朗 湯谷　浩次
2671415	交流電気車の制御装置	義則　直人 若生　雅明
2671517	シーケンス処理におけるタイマ，カウンタの処理方法	尾崎　覚 柴田　秀隆
2671523	燃料電池発電装置の運転制御方法	原嶋　孝一
2671531	タービンブレードのエロージョンシールド材ろう付け装置	古屋　弘次 志村　東
2671542	油タンクの大気通気装置	吉江　耕也
2671544	電子写真用感光体	井口　靖 國司　徹 佐藤　勝博
2671591	過電流制限型半導体装置	小林　真一 伊藤　伸一 大久保寿夫 岡林　健木
2671657	高分子センサ	高浜　禎造 花房　龍治 吉田　義輝
2671762	電子式タイマ	佐々木昭治
2671876	自動販売機の制御装置	杉野　一彦

FUJI ELECTRIC

主要営業品目

電　機

電動機，可変速装置，誘導加熱装置，誘導炉，産業用電源装置，クリーンルームシステム，非常用電源装置，コンピュータ用電源装置，舶用電気品，車両用電気品，変圧器，遮断器，ガス絶縁開閉装置，電力変換装置，原子力機器，火力機器，水力機器，発電機，新エネルギー発電システム，発電設備用保護・監視・制御装置，発電設備用コンピュータ制御装置，誘導電動機，ギヤードモータ，ブレーキモータ，ファン，ポンプ，ブロワ，電磁開閉器，操作・表示機器，制御リレー，タイマ，ガス関連機器，配線用遮断器，漏電遮断器，限流ヒューズ，高圧受配電機器，汎用モールド変圧器，電力制御機器，プログラマブルコントローラ，プログラマブル操作表示器，多重伝送システム，汎用インバータ，サーボシステム，加熱用インバータ，可変速電動機，交流電力調整器，近接スイッチ，光応用センサ

制御・情報・電子デバイス

コンピュータ制御装置，運転訓練・系統解析シミュレータ，電力量計，放射線モニタリングシステム，保護・監視・制御装置，マイクロコントローラ，水処理装置，遠隔制御装置，オゾン処理システム，電気集じん機，FA システム，FA パソコン，電話自動選択着信装置，レーザ応用装置，ビデオセンサ応用装置，工業計測制御機器，分析機器，放射線計測機器，OCR，磁気記録媒体，複写機・プリンタ用感光体，パワートランジスタ，サイリスタ，シリコン整流素子，集積回路，パワーハイブリッド IC，サージアブソーバ，半導体センサ，スイッチング電源

業務用民生機器ほか

自動販売機，コインメカニズム，紙幣識別装置，貨幣処理システム，飲料ディスペンサ，自動給茶機，冷凍冷蔵ショーケース，ホテルベンダシステム，冷却装置，カードシステム，アルカリイオン水生成器

富士時報	**第 70 巻　第 12 号**	平成 9 年 11 月 30 日 印刷 平成 9 年 12 月 10 日 発行 定価 525 円（本体 500 円・送料別）
編集兼発行人	沢　邦彦	
発行所	富士電機株式会社内 「富士時報」編集部	〒100 東京都千代田区有楽町一丁目 12 番 1号 （新有楽町ビル） 電話　東京（03）3211 － 7111（大代表） 〔編集室：電話　東京（03）3211－1168〕
印刷所	富士電機情報サービス株式会社	〒 151 東京都渋谷区代々木四丁目 30 番 3 号 （新宿コヤマビル） 電話　東京（03）5388 － 8241
発売元	株式会社オーム社	〒 101 東京都千代田区神田錦町三丁目 1 番地 電話　東京（03）3233－0641（代表） 振替口座　東京　6－20018

© 1997 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan （禁無断転載）

富士時報 VOL.70　1997（平成9年）総目次

No.1　技術成果と展望

新しい年を迎えて	2
ハイライト	4
研究・基盤技術	10
電力・エネルギー	19
産業用システム・機器	32
交　通	42
公共・社会システム	46
計測・情報・制御システム	52
汎用機器	65
情報機器関連コンポーネント	74
電子デバイス・半導体	77
業務用民生機器	82

No.2　コンピュータシステム特集

特集論文

コンピュータシステム特集に寄せて			新　　誠一	94（2）
コンピュータシステムの現状と展望		井部　成身	大柴　正清	95（3）
富士電機のコンピュータシステム	土田　勝啓	大森　　茂	浅野秀次郎	99（7）
コンピュータシステムを支えるミドルウェア		林　　佳男	石川　健一	105（13）
コンピュータシステムのヒューマンインタフェース	小山　　深	井川　喜裕	平林　俊一	109（17）
コンピュータシステムの運用管理環境		稲上　匡彦	迫田　悟志	114（22）
ソフトウェア生産技術			川合　成治	119（27）
コンピュータシステムのネットワーク			藤井　準一	123（31）
電力分野のコンピュータシステム	新永　惠洋	松本　　強	寒河江繁市	127（35）
水処理分野のコンピュータシステム	佐々木裕一	山岸　　馨	高橋　正行	131（39）
産業分野のコンピュータシステム		渡辺　　裕	渡辺　光宏	136（44）
企業基幹業務パッケージとグループウェア	伊藤　元規	菊池　洋司	徳永　良一	140（48）

普通論文

シリア・ジャンダール複合火力発電所向け変電所設備	二瓶　武男	安藤　郁夫	清水　　忠	144（52）

No.3　社会システム特集

高さ1,000mの建物			伊藤　　滋	152（2）
社会システムの展望			関口　一夫	154（4）
統合施設管理システムSOINS	長原　洋二	高田　正実	柄沢　　隆	156（6）
統合施設管理システムSOINS-100応用システム	白井　英登	木﨑日出雄	永井　慎吾	161（11）
ごみ処理システム	松本　祥一	久保田　勉	花岡　憲一	166（16）
リサイクルシステム	松本　祥一	圓子　　雄	原田　満雄	171（21）
新エネルギーシステム	山口　　誠	日下　　豊	梅津　純一	175（25）
港湾システム		安本　浩二	三橋　正徳	180（30）
地下駐車場・共同溝システム	安本　浩二	三橋　正徳	水野　　豊	185（35）
舞台機構システム	保坂　重仁	加藤　誠之	大澤　　悟	190（40）
道路システム	青木　幸男	山田　健二	志賀　洋之	195（45）

No.4　パワー半導体特集

世紀末の技術戦略――LSIの“超の技術”をパワーデバイスに融合する―― …… 柴田　直 204（2）
パワー半導体の現状と展望 …… 桜井　建弥 205（3）
120kHz対応ダンパダイオード …… 桜井　敬二　堀内　康司 210（8）
高精細度モニタ用高速高圧ダイオード …… 太田　裕之　渡島　豪人 214（12）
パワーMOSFET …… 藤沢　尚登　新井　利浩　山田　忠則 218（16）
インテリジェントパワーMOSFET …… 木内　伸　工藤　基　八重澤直樹 222（20）
産業用モールド形IGBT …… 山口　浩二　五十嵐　隆　石井　憲一 227（25）
IGBTモジュール …… 宮下　秀仁　田久保　拡　吉渡　新一 231（29）
新形IGBT-IPM（Rシリーズ）の開発 …… 山口　厚司　市川　裕章 237（35）

No.5　画像処理技術特集

画像処理研究の3レベル …… 池内　克史 246（2）
富士電機における画像処理技術の動向 …… 宮川　道明 247（3）
包装・容器検査への画像処理技術の応用 …… 山村　辰男　中島　康晴　杉山　良雄 250（6）
医療用機材検査への画像処理技術の応用 …… 山村　辰男　宮脇　淑久　伊藤　公一 254（10）
農水産物の選別・加工システム …… 福田　和彦　日浦　禎　伊東　英俊 257（13）
電子・精密加工部品検査システム …… 福田　和彦　細川　勝美　夏目　新二 262（18）
複写機・プリンタ用有機感光体の自動外観検査システム …… 福田　和彦　柳澤　邦昭　新井　明夫 269（25）
ハードディスク媒体外観検査装置への画像処理技術の応用 …… 木内　哲夫 274（30）
Windows対応文書読取りシステム …… 小倉　一郎 278（34）
道路監視システムへの画像処理技術の応用 …… 武笠　稔　紺野　章子　外山　公一 283（39）
侵入者監視システムへの画像処理技術の応用 …… 紺野　章子　清水　晃 287（43）

No.6　水質関連ソリューション技術特集

特集論文

センサと水質ソリューション技術への期待 …… 後藤　圭司 298（2）
水質関連ソリューション技術の動向と展望 …… 伊藤　晴夫　風間　清　福田　政克 299（3）
上下水道と水質センサ …… 青木　隆　篠原　康裕　高橋　康夫 303（7）
河川水質管理システム・給水水質モニタリングシステム …… 多田　弘　大戸時喜雄　田中　良春 307（11）
水の高度処理とプロセス制御 …… 高橋　和孝　高橋龍太郎　本山　信行 314（18）
トリハロメタン計測と管理 …… 中原　泰男　山本総一郎　川上　幸次 320（24）
クリプトスポリジウムとセンサ …… 田中　義郎　齋藤　芳雄　山口　太秀 326（30）
災害時の水質管理 …… 守本　正範　蓮本　了遠 333（37）

普通論文

衛星搭載センサ冷却用クライオクーラ …… 藤並　太　大嶋　恵司　遠藤　幸一 338（42）

No.7　発電システムの制御・保護技術特集

規制緩和と技術 …… 長谷川　淳 346（２）
発電システムの制御・保護技術の現状と展望 …… 今泉　眞一 347（３）
事業用火力発電所の制御システム …… 佐藤喜代志　菅野　喜晴　村上　敬三 350（６）
台湾・台塑石化股份有限公司向け600MWタービン・発電機設備の制御・保護システム …… 西田　和実　福冨　孝一　三浦　弘勝 355（11）
火力発電所のボイラ制御システム …… 若杉　繁実 359（15）
自家用発電設備の監視・制御・保護システム …… 加藤　清　松井　章太　塩崎　靖 364（20）
水力発電所の最新制御システム …… 戸野塚武浩　村山　裕明　磯野与志雄 369（25）
水力発電所の保守支援システム …… 大隅　謙二　渡辺　重喜 374（30）
発電機保護用ディジタル保護リレー …… 高村　隆太　井口　研二　福冨　孝一 378（34）
画像処理による現場異常監視システム …… 植草　秀明　籾井丈一郎　武笠　稔 383（39）
ガスタービン制御装置の開発 …… 新村　栄一　木村　敏春　小島　武彦 387（43）
電力系統安定化技術と解析ツール環境 …… 森岡　靖夫　小島　武彦　勝野　徹 393（49）

No.8　クリーンルームシステム特集

特集論文

居心地の良いクリーンルーム …… 松村　英樹 400（２）
クリーンルームシステムの現状と展望 …… 横幕　博行　諏訪　延行 401（３）
高清浄度クリーンルームシステム …… 数見　英樹　藤瀬　成己　高橋　富行 407（９）
製薬関連クリーンルームシステム …… 峰岸裕一郎　松木　幹夫　大輪　正 412（14）
最近のクリーンルームシステム機器 …… 澤田　朋之　蓑輪　義弘　河原　裕二 418（20）
クリーンルーム内の化学汚染物質の分析評価技術 …… 佐渡　直彦　蛭田　玲子　岩田　英之 423（25）
クリーンルーム内の気流シミュレーション …… 寿上　宏司　平櫛ゆかり　松本　悟史 427（29）
クリーンルーム用電源供給システム …… 日下　豊　小端　伸二　三橋　正徳 431（33）

普通論文

IGBT式交流電力調整器 …… 谷　利博　上松　賢司　大熊　康浩 438（40）
廃棄物処理用ICPトーチ …… 片桐　源一　榊原　康史 441（43）
無停電電源装置の製品系列 …… 小端　伸二　石川　吉浩　横山　隆浩 445（47）

No.9　大形回転機技術特集

特集論文

同期発電機雑感 …… 仁田　旦三 454（２）
解析による大形回転機の技術進歩 …… 遠藤　研二 455（３）
２極空気冷却タービン発電機の新系列機の開発 …… 佐藤　昭二　溝上　良一　山﨑　勝 458（６）
大形水素冷却タービン発電機の技術進歩 …… 長谷　徹　日和佐寛道 462（10）
大形バルブ水車・発電機の冷却技術 …… 大谷　和雄　衛藤　浩史　小林　秀樹 466（14）
低速大容量ディーゼル発電機の技術解析 …… 久保　良秀　清野　純一　島田　陽二 471（19）
大形誘導電動機の技術進歩 …… 小栗　一也　西　律夫 476（24）
大形回転機用軸受の技術進歩 …… 氏家　隆一 480（28）
大形回転機の全含浸絶縁技術の進歩 …… 竹田　政寛　中山　昭伸　村岡　政義 484（32）

普通論文

中国・バイロンタン発電所向け大容量バルブ水車・発電機 …… 高橋　正宏　吉井　清　川路　忠治 489（37）
新形72/84kV C-GISの開発 …… 高橋　義博 494（42）
タンク形避雷器の新シリーズの開発 …… 堤　睦生　向江　和郎　中島　昌俊 497（45）

No.10　産業用電動力応用プラント技術特集

産業用電動力応用プラント技術特集に寄せて …… Thomas A. Lipo 506（2）
産業用電動力応用プラント技術の現状と展望 …… 荒井 至　有年 隆男 507（3）
産業用電動力応用プラントの統合化制御システム …… 中村 一夫　石橋 景二 509（5）
産業用電動力応用プラントの可変速駆動システム …… 保坂 忍　花澤 昌彦　木谷 剛士 516（12）
産業用電動力応用プラントの制御技術 …… 西田 英幸　藤森 晃　伊藤 伸一 522（18）
エンジニアリング支援システム …… 根津 英樹　田中 芳紀　郡 健 528（24）
最近の圧延機駆動システム …… 南 英倫 535（31）
最近のプロセスライン制御システム …… 倉地 庸夫　高橋 孝一 539（35）
最近の製紙・フィルムプラント制御システム …… 小田 孝一　藤本 潔　西村 英二 544（40）
産業用電動力応用プラントの運転・監視システム …… 西郷 宏治　渡辺 悟　岩崎 哲之 550（46）
産業用電動力応用プラントのエンジニアリング …… 有年 隆男　大内 泰広 554（50）

No.11　計測・制御技術特集

情報技術の進展と社会への影響 …… 斎藤 信男 562（2）
計測・制御技術の動向と展望 …… 福本 武也 563（3）
光フィールドバスシステムの展開 …… 神崎 昇　松平 竹央　郡司 琢巳 567（7）
オープン統合化制御システムFOCUS …… 井上 芳範　吉田 裕 573（13）
計測機器分野の新技術 …… 中野 昌芳 579（19）
鉄鋼分野向けオープンシステム …… 大池 克幸　吉川 肇 584（24）
プラントシミュレータのごみ焼却設備への適用 …… 中谷 一彦 589（29）
運転支援システムの石油分野への適用 …… 東 尚巳　植草 誠 594（34）
マルチメディア携帯端末システムの適用 …… 飯野 光俊　田中 優 600（40）
超高解像度ビジョンシステムFAY-1000 …… 福田 和彦 604（44）

No.12　インバータ・サーボ技術特集

汎用インバータの発展に想う …… 中野 孝良 614（2）
インバータ・サーボ技術の現状と展望 …… 柳瀬 孝雄　川畑志農夫　栗田 茂文 615（3）
新しい電力変換回路技術 …… 藤田 光悦　大熊 康浩　伊東 淳一 619（7）
電力変換器の低ノイズ化技術 …… 石井 新一　五十嵐征輝　豊崎 次郎 623（11）
新しい可変速制御技術 …… 藍原 隆司　海田 英俊　田島 宏一 627（15）
汎用インバータの小形化技術 …… 市原 孝男　岡本 健次　塩川 治 630（18）
大容量電力変換器 …… 吉田 雅和　望月 昌人　金沢 直樹 634（22）
工作機械主軸駆動装置FRENIC5000MS5 …… 田中 良和　林 寛明　高橋 弘 638（26）
新形サーボシステムFALDIC-II …… 新美 務　篠田 誠司　遠藤 実 642（30）
電子カムモジュール …… 相田 忠勝　斉藤 豊　丸林 雅美 646（34）
インバータ・サーボシステムの適用例 …… 島田 喜秋　井田 貴士 650（38）
インバータ・サーボアンプ・回転機のCEマーキングへの対応 …… 森口 千秋　西山 誠治　﨑山 貴史 654（42）
可変速駆動システムの高調波抑制手法 …… 大阿久康之 658（46）

富士時報論文抄録

インバータ・サーボ技術の現状と展望

柳瀬　孝雄　　川畑 志農夫　　栗田　茂文
富士時報　Vol.70 No.12 p.615-618（1997）

汎用インバータやサーボシステムは，これまでの多くの技術開発により，高性能化と経済性の両面でメリットが拡大し，めざましい発展を続けている。一方，普及の拡大につれて，ノイズや高調波の低減，取扱いの容易さなど解決すべき課題も多い。

富士電機製品の現状や技術開発の取組み状況の一端を紹介するとともに，今後の技術開発・商品開発の方向づけとして「人に優しい」「環境に優しい」「高信頼性」などがキーワードであることを提案している。

新しい電力変換回路技術

藤田　光悦　　大熊　康浩　　伊東　淳一
富士時報　Vol.70 No.12 p.619-622（1997）

インバータ用の新しい電力変換回路技術として，三相－三相直接変換回路の解析法と各種新変換回路を紹介する。三相－三相直接変換回路はさまざまな構成が提案されているが，本解析法を適用することにより，回路固有の機能を明確にし，最適なパルス制御方式の検討が可能となる。直接リンク形変換回路は，双方向パワーデバイスと交流スナバなしに直接変換を可能とする実用的な回路である。新方式単相高力率変換回路は，電圧形インバータの零ベクトルを利用した新しい原理による回路である。

電力変換器の低ノイズ化技術

石井　新一　　五十嵐 征輝　　豊崎　次郎
富士時報　Vol.70 No.12 p.623-626（1997）

パワーエレクトロニクス機器は生産性の向上や省エネルギー化のために，生産工場から一般家庭に至るまで幅広く使用されている。これらの機器は今後さらなる普及が見込まれている。しかしながら，これらの機器から発生するノイズが他の機器へ与える影響が懸念されている。本稿は，これらのノイズの発生源別抑制法の一端を紹介したものである。ここで取り扱うノイズは，①電源高調波，②主電源端子妨害電圧，③電磁放射妨害波である。

新しい可変速制御技術

藍原　隆司　　海田　英俊　　田島　宏一
富士時報　Vol.70 No.12 p.627-629（1997）

最近の制御技術開発の成果として，次の技術を紹介する。

(1)　インバータ出力電圧のディジタル制御技術により，超低速でも正弦波電流にすることができ，低回転むらを実現している。

(2)　センサレスベクトル制御の応用により，駆動システムの能力いっぱいのトルクに制御しつつ，自動的に最短な加減速を実現している。

(3)　小形・高効率のメリットを持つ永久磁石形同期電動機のセンサレス駆動に関して，停止状態あるいは回転状態からの始動方法と超低速制御方法とについて提案している。

汎用インバータの小形化技術

市原　孝男　　岡本　健次　　塩川　　治
富士時報　Vol.70 No.12 p.630-633（1997）

電力変換装置である汎用インバータは，初めて市場へ展開された当時に比べ小形化・低価格化・高性能化・高機能化が進められ，その技術的進歩は目を見張るものがある。そのなかでも小形化に関しては，市場展開当初に比べ体積で 1/10 以下となっており，汎用インバータの用途拡大に大いに貢献している。本稿では，この小形化を推進してきた代表的な要素技術について紹介する。

大容量電力変換器

吉田　雅和　　望月　昌人　　金沢　直樹
富士時報　Vol.70 No.12 p.634-637（1997）

電動機駆動用インバータは，適用分野が拡大するにつれ，大容量電動機を駆動できるインバータへの要求も強くなってきている。このような状況のもと，変換器容量の拡大を図るとともに，設置される設備の重要性を考慮し，前面メンテナンス，IGBT 部のトレーへの収納などにより，保守性・保全性の向上を図った。

本稿では，大容量変換器の特長および回路構成を紹介するとともに，最近問題視されている高調波対策として，12パルス整流，PWM コンバータについても紹介する。

工作機械主軸駆動装置 FRENIC5000MS5

田中　良和　　林　　寛明　　高橋　　弘
富士時報　Vol.70 No.12 p.638-641（1997）

工作機械用スピンドル駆動装置の FRENIC5000V3/M3 シリーズは市場で好評を得ていたが，近年は工作機械の小形化や複合加工に対応するための性能・機能の向上，また EC 指令に代表される各種の規制対応などへ市場の要求が変化してきた。これらの市場要求にこたえ，従来の V3/M3 シリーズの後継機種として FRENIC5000MS5 シリーズを開発した。本稿では，その特長・仕様について概要を述べる。

新形サーボシステム FALDIC-II

新美　　務　　篠田　誠司　　遠藤　　実
富士時報　Vol.70 No.12 p.642-645（1997）

各種産業機械分野の自動化・省力化を支えるサーボシステムは，1990年代から制御のディジタル化が進み，適用用途も拡大してきた。多様なシステムにフレキシブルに対応するため，機能・性能の充実やアンプの小形化などがさらに強く望まれている。これらの要求にこたえるため，用途に応じたシリーズを整備し，電動機の多様化，上位コントローラとのインタフェースの充実，サーボアンプの小形・省スペース化を狙いとした新形サーボシステム FALDIC-II を開発したので，その特長を紹介する。

Abstracts (Fuji Electric Journal)

Novel Technologies for Power Conversion Circuits

Kouetsu Fujita Yasuhiro Okuma Junichi Itoh
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.619−622 (1997)

This paper describes a new analysis method for three-phase direct AC-AC converters and some of new power conversion circuits as novel power conversion technologies. When applied to various three-phase direct AC-AC converters, this new analysis method clarifies the specific function of each circuit and enables the study of optimal pulse control systems for them. The direct linked type frequency changer is a practical circuit of a direct AC-AC converter without bilateral switches and AC snubber circuits. The new single-phase input high power factor converter is a circuit based on a new principle by controlling the zero-phase-sequence voltage of a voltage source inverter.

Present Status and Prospects for General-Purpose Inverters and Servo Systems

Takao Yanase Shinobu Kawabata Shigefumi Kurita
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.615−618 (1997)

General-purpose inverters and servo systems have got advantages in both performance and economy through many technical developments and rapidly come into wide use. On the other hand, the spread has posed many problems to be solved such as reduction in noise and harmonics and ease in handling. This paper describes Fuji Electric’s current products and technical developments and proposes key words, “user-friendly”, “environment-friendly” and “high reliability” as guiding principles for the future development of technologies and products.

Recent Variable-Speed Drive Technology

Takashi Aihara Hidetoshi Umida Hirokazu Tajima
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.627−629 (1997)

This paper describes the following examples of recent developments in control technology: (1) The digital control of inverter output voltage can generate sine wave current at a very low speed and attains low rotational fluctuation. (2) The application of sensorless vector control realizes automatic acceleration or deceleration in the shortest time, with the drive system controlled at its maximum torque. (3) With regard to the sensorless drive of permanent-magnet synchronous motors which have the advantage of small size and high efficiency, this paper describes the latest researches on starting methods from a stationary or rotating state and control methods at a very low speed.

Noise Reduction Methods for Power Electronics Equipment

Shinichi Ishii Seiki Igarashi Jiro Toyosaki
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.623−626 (1997)

Power electronics equipment for improving productivity and saving energy are used widely from factories to homes and expected to further diffuse in the future. However, there is fear that noise emitted by the equipment has an influence upon other equipment. This paper presents methods of noise reduction classified by the sources of emission. Noises taken up here are (1) harmonic current emissions, (2) main terminal disturbance voltage, and (3) electromagnetic disturbance emission.

Large-Capacity, Variable-Speed AC Drive

Masakazu Yoshida Masato Mochizuki Naoki Kanazawa
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.634−637 (1997)

As inverters for motor drive come into wide use, demands for inverters for large motors become intense. Under the circumstances, Fuji Electric has increased the capacity of inverters and also in consideration of their importance in the installations, front-accessible maintenance and IGBT sections built in the tray have been adopted to facilitate maintenance. This paper describes the features and circuitry configuration of large capacity inverters and also refers to a 12-pulse rectifier and PWM converter as a measure against harmonics currently taking notice.

Downsizing Technology for General-Purpose Inverters

Takao Ichihara Kenji Okamoto Osamu Shiokawa
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.630−633 (1997)

General-purpose inverters have been reduced in size and price and improved in performance and functions since they came on the market, making spectacular technical progress. The downsizing among these improvements, in which the volume has been reduced to less than one tenth of the first marketing, has greatly contributed to the increase in uses of general-purpose inverters. This paper describes the typical elemental technologies that have been effective in promoting the downsizing.

New Servo System FALDIC−II

Tsutomu Niimi Seiji Shinoda Minoru Endoh
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.642−645 (1997)

Servo systems that support automation and labor reduction in various industries have used digital control since the 1990s and their uses have increased. To flexibly meet various systems, servo systems are strongly desired to improve in functions and performance and have small-size amplifiers. To meet these requirements, Fuji Electric has developed a new servo system FALDIC−Ⅱ. This system has its series meeting uses, is applicable to various motors, has ample interfaces for the high-level controllers, and is equipped with a small-size, space-saving amplifier.

FRENIC5000MS5 for Machine Tool Spindle Drive

Yoshikazu Tanaka Hiroaki Hayashi Hiroshi Takahashi
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.638−641 (1997)

The FRENIC5000V3/M3 series for machine tool spindle drive was favorably noticed by the market. Recently, however, market requirements have changed, i.e. machine tools have been required to be small-sized, to improve in performance and functions to meet combined machining, and to satisfy various regulations typically represented by the EC directions. To meet these market needs, Fuji Electric has developed the FRENIC5000MS5 series succeeding to the former V3/M3 series. This paper outlines the features and specifications of this new series.

電子カムモジュール

相田　忠勝　斉藤　豊　丸林　雅美

富士時報　Vol.70 No.12 p.646-649（1997）

高精度位置決めを行うサーボモータについては，プログラマブルコントローラ（PLC）と専用位置決め装置との組合せにより使用する場合が多かったが，一般産業機械の分野においては，コスト，操作性などの面から PLC への位置決め機能の取込みの要求が強くなっている。こうした背景のもとに製品化した電子カムモジュールについて，その概要を紹介する。本モジュールは，サーボシステムとの組合せにより，機械カム機構と同様の動作を実現するものである。

インバータ・サーボシステムの適用例

島田　喜秋　井田　貴士

富士時報　Vol.70 No.12 p.650-653（1997）

小形，高精度，高速応答，多機能な可変速駆動装置に発展したインバータ，AC サーボはプログラマブルコントローラとともにシステムを構成することによりさまざまな産業機械に適用され効果を上げている。

本稿では，ベクトル制御インバータ FRENIC5000VG5，AC サーボシステム FALDIC について，タイヤ製造，包装，繊維，搬送，半導体などの機械設備への適用例を述べる。

インバータ・サーボアンプ・回転機の CE マーキングへの対応

森口　千秋　西山　誠二　﨑山　貴史

富士時報　Vol.70 No.12 p.654-657（1997）

EC 指令が 1997 年から全面的に施行され，富士電機のインバータ・サーボアンプ・回転機もおのおの CE マーキング対応の製品を発売している。インバータ・サーボアンプは，低電圧指令に対し VDE 0 160，IEC664-1 を適用し，感電防止強化のための仕様変更を行った。また，EMC 指令に対し EN50081-1，2 を適用し，制御盤・ケーブルのシールド処理など，特にエミッション対策に重点を置いた。回転機では，低電圧指令に対し，機械指令を考慮しながら，IEC34-1 に基づいて製品仕様を定めた。

可変速駆動システムの高調波抑制手法

大阿久 康之

富士時報　Vol.70 No.12 p.658-661（1997）

汎用インバータ，サーボアンプなどの可変速駆動システムに適用される「家電・汎用品高調波抑制対策ガイドライン」と「高圧又は特別高圧で受電する需要家の高調波抑制対策ガイドライン」について紹介する。また，高調波抑制対策の方法とその効果についても説明する。

Applications of Inverters and AC Servo Systems

Yoshiaki Shimada Takashi Ida
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.650−653 (1997)

Inverters and AC servo systems have developed into small-size, high-precision, quick-response, multifunctional variable-speed drive equipment. They have been combined with programmable controllers into systems used for various industrial machines with successful results. This paper describes applications of the vector-controlled inverter FRENIC 5000VG5 and the AC servo system FALDIC to mechanical equipment for tyre manufacture, packaging, fiber production, conveyance, and semiconductor manufacture.

Electronic Cam Modules

Tadakatsu Aida Yutaka Saitoh Masami Marubayashi
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.646−649 (1997)

In high-precision positioning servomotors, combinations of a programmable controller (PLC) and an exclusive-use positioning device are often used. However, in general industrial machines, there is a growing demand for the positioning function incorporated in the PLC because of lower cost and easier operation. This paper outlines the electronic cam module developed under the circumstances. This module is combined with a servo system and realizes the same motion as a mechanical cam system.

Suppression of Harmonics Caused by Variable-Speed Drive Systems

Yasuyuki Oaku
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.658−661 (1997)

This paper describes the “guideline to reduce harmonic emission caused by electrical and electronic equipment for household and general use” and “guideline to the control of harmonics by consumers of high or special high voltage power supply” which are applied to variable-speed drive systems such as general-purpose inverters and servo amplifiers, and also explains methods of suppressing harmonics and their effects.

CE Marking for Inverters, Servo Amplifiers, and Motors

Chiaki Moriguchi Seiji Nishiyama Takashi Sakiyama
Fuji Electric Journal Vol.70 No.12 p.654−657 (1997)

The EC directions have been fully enforced since 1997, and Fuji Electric has marketed inverters, servo amplifiers, and motors with CE marking. The inverters and servo amplifiers conform to VDE 0160 and IEC664-1 to meet the directions for low voltage, and the specifications have been modified to be more effective against electric shocks. In addition, EN50081-1 and 2 are applied to meet the EMC directions, and in particular, importance has been attached to measures against emission such as shielding for control panels and cables. The specifications of motors are determined to conform to IEC34-1, taking the directions for machines into consideration.

富士電機株式会社

本社事務所	☎(03)3211-7111	〒100 東京都千代田区有楽町一丁目12番1号（新有楽町ビル）
〃　新宿別館	☎(03)3375-7111	〒151 東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル）
北海道支社	☎(011)261-7231	〒060 札幌市中央区大通西四丁目1番地（道銀ビル）
東北支社	☎(022)225-5351	〒980 仙台市青葉区一番町一丁目2番25号（仙台NSビル）
北陸支社	☎(0764)41-1231	〒930 富山市桜橋通3番1号（富山電気ビル）
中部支社	☎(052)204-0290	〒460 名古屋市中区錦一丁目19番24号（名古屋第一ビル）
関西支社	☎(06) 455-3800	〒553 大阪市福島区鷺洲一丁目11番19号（富士電機大阪ビル）
中国支社	☎(082)247-4231	〒730 広島市中区胡町4番21号（朝日生命広島胡町ビル）
四国支社	☎(0878)51-9101	〒760 高松市番町一丁目6番8号（高松興銀ビル）
九州支社	☎(092)731-7111	〒810 福岡市中央区天神二丁目12番1号（天神ビル）
北関東支店	☎(0485)26-2200	〒360 熊谷市筑波一丁目195番地（能見ビル）
首都圏北部支店	☎(048)657-1231	〒330 大宮市宮町一丁目38番1号（野村不動産大宮共同ビル）
首都圏東部支店	☎(043)223-0701	〒260 千葉市中央区富士見二丁目15番11号（日本生命千葉富士見ビル）
神奈川支店	☎(045)325-5611	〒220 横浜市西区北幸二丁目8番4号（横浜西口KNビル）
新潟支店	☎(025)284-5314	〒950 新潟市新光町16番地4（荏原新潟ビル）
長野システム支店	☎(026)228-6731	〒380 長野市南県町1002番地（陽光エースビル）
長野支店	☎(0263)36-6740	〒390 松本市中央四丁目5番35号（長野鋳物会館）
松山支店	☎(0899)33-9100	〒790 松山市勝山町一丁目19番地3（青木第一ビル）
北見営業所	☎(0157)22-5225	〒090 北見市西富町163番地の30
釧路営業所	☎(0154)22-4295	〒085 釧路市新栄町8番13号
道東営業所	☎(0155)24-2416	〒080 帯広市東三条南十丁目15番地
青森営業所	☎(0177)77-7802	〒030 青森市長島二丁目25番3号（ニッセイ青森センタービル）
盛岡営業所	☎(0196)54-1741	〒020 盛岡市盛岡駅前通16番21号（住友生命盛岡駅前ビル）
秋田営業所	☎(0188)24-3401	〒010 秋田市八橋大畑一丁目5番16号
山形営業所	☎(0236)41-2371	〒990 山形市宮町一丁目10番12号
福島営業所	☎(0249)32-0879	〒963 郡山市中町1番22号（郡山大同生命ビル）
金沢営業所	☎(076)221-9228	〒920 金沢市広岡一丁目1番18号（伊藤忠金沢ビル）
福井営業所	☎(0776)21-0605	〒910 福井市大手二丁目7番15号（安田生命福井ビル）
山梨営業所	☎(0552)22-4421	〒400 甲府市相生一丁目1番21号（清田ビル）
松本営業所	☎(0263)33-9141	〒390 松本市中央四丁目5番35号（長野鋳物会館）
岐阜営業所	☎(058)251-7110	〒500 岐阜市光明町3番1号（太陽ビル）
静岡営業所	☎(054)251-9532	〒420 静岡市安西二丁目21番地（木材会館）
浜松営業所	☎(053)458-0380	〒430 浜松市伝馬町312番地32（住友生命浜松伝馬町ビル）
豊田営業所	☎(0565)29-5771	〒471 豊田市曙町三丁目25番地1
和歌山営業所	☎(0734)72-6445	〒640 和歌山市黒田94番地24（鍋島ビル）
山陰営業所	☎(0852)21-9666	〒690 松江市中原町13番地
岡山営業所	☎(086)227-7500	〒700 岡山市磨屋町3番10号（住友生命岡山ニューシティビル）
山口営業所	☎(0836)21-3177	〒755 宇部市相生町8番1号（宇部興産ビル）
徳島営業所	☎(0886)55-3533	〒770 徳島市寺島本町東二丁目5番地1（元木ビル）
高知営業所	☎(0888)24-8122	〒780 高知市本町四丁目1番16号（高知電気ビル）
小倉営業所	☎(093)521-8084	〒802 北九州市小倉北区砂津二丁目1番40号（富士電機小倉ビル）
長崎営業所	☎(0958)27-4657	〒850 長崎市金屋町7番12号
熊本営業所	☎(096)387-7351	〒862 熊本市神水一丁目24番1号（城見ビル）
南九州営業所	☎(099)224-8522	〒892 鹿児島市加治屋町12番7号（日本生命加治屋町ビル）
沖縄営業所	☎(098)862-8625	〒900 那覇市天久1131番地11（ダイオキビル）
エネルギー製作所	☎(044)333-7111	〒210 川崎市川崎区田辺新田1番1号
変電システム製作所	☎(0436)42-8111	〒290 市原市八幡海岸通7番地
東京工場	☎(0425)83-6111	〒191 日野市富士町1番地
神戸工場	☎(078)991-2111	〒651-22 神戸市西区高塚台四丁目1番地の1
鈴鹿工場	☎(0593)82-1201	〒513 鈴鹿市南玉垣町5520番地
松本工場	☎(0263)25-7111	〒390 松本市筑摩四丁目18番1号
山梨工場	☎(0552)85-6111	〒400-02 山梨県中巨摩郡白根町飯野221番地の1
吹上工場	☎(0485)48-1111	〒369-01 埼玉県北足立郡吹上町南一丁目5番45号
大田原工場	☎(0287)22-7111	〒324 大田原市中田原1043番地
三重工場	☎(0593)30-1511	〒510 四日市市富士町1番27号
(株)富士電機総合研究所	☎(0468)56-1191	〒240-01 横須賀市長坂二丁目2番1号
(株)エフ・エフ・シー	☎(03)5351-0200	〒151 東京都渋谷区代々木四丁目30番3号（新宿コヤマビル）

昭和40年6月3日　第三種郵便物認可　平成9年12月10日発行（毎月1回10日発行）富士時報　第70巻　第12号（通巻第753号）

FUJI ELECTRIC 富士電機

本誌はエコマーク認定の再生紙を使用しています。

定価525円（本体500円）